



TUGAS AKHIR - MM 091381

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KOMPOSISI
OKSIGEN DI PENGHEMBUSAN UDARA PADA PROSES
CONVERTING TEMBAGA *MATTE* MENJADI *BLISTER***

Muhammad Arlin Ilham
NRP. 2710 100 101

Dosen Pembimbing :
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Jurusan Teknik Material Dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - MM 091381

**THE EFFECT OF OXYGEN ADDITION IN AIR
BLOWING FOR CONVERTING PROCESS OF COPPER
MATTE BECOME BLISTER**

Muhammad Arlin Ilham
NRP. 2710 100 101

Advisor :
Sungging Pintowantoro, S.T.,M.T., Ph.D

Department of Material And Metallurgy Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PROPOSAL TUGAS AKHIR
PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KOMPOSISI
OKSIGEN DI PENGEMBUNGAN UDARA PADA PROSES
CONVERTING TEMBAGA MATTE MENJADI BLISTER

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metallurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

MUHAMMAD ARLIN ILHAM

NRP. 2710 100 101



Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Sungging Pintowantoro S.T., M.T., Ph.D..... (Pembimbing)

Surabaya,
January 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KOMPOSISI OKSIGEN DI PENGHEMBUSAN UDARA PADA PROSES CONVERTING PADA TEMBAGA MATTE MENJADI BLISTER

Nama Mahasiswa : Muhammad Arlin Ilham
NRP : 2710100101
Dosen Pembimbing : Sungging Pintowantoro S.T., M.T.,
Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan proses pemurnian lanjut tembaga *matte* dari *smelting blast furnace* pada metode pirometalurgi. *Converting* pada penelitian ini merupakan proses oksidasi tembaga *matte* yang masih memiliki pengotor dengan peniupan oksigen tanpa penambahan *flux*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan komposisi oksigen pada udara bebas terhadap kemurnian tembaga *blister* dan slagnya. Penambahan komposisi oksigen dilakukan dengan variasi penambahan persen oksigen sebesar 30%, 40%, 50%, dan 21% yang merupakan komposisi oksigen pada udara bebas yang normal sebagai pembanding. Proses *converting* dilakukan dengan debit udara 12,5 liter/menit dengan waktu yang sama yaitu 10 menit. Produk tembaga *blister* dan *slag* diuji XRF dan XRD untuk mengetahui kadar komposisi Cu, Fe, S dan senyawa yang terbentuk. Hasil dari penelitian didapatkan kadar Cu yang paling baik adalah dengan penambahan komposisi oksigen sebesar 50%. Kadar Cu pada *slag* memiliki komposisi paling rendah pada komposisi oksigen sebesar 50% di udara bebas.

Kata kunci : *converting, oksigen, tembaga matte, tembaga blister*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF OXYGEN ADDITION IN AIR BLOWING FOR CONVERTING PROCESS OF MATTE COPPER BECOME BLISTER

Name : Muhammad Arlin Ilham
NRP : 2710100101
Advisor : Sungging Pintowantoro S.T., M.T., Ph.D.

ABSTRACT

This research is a further refining process of copper matte from smelting blast furnace in pyrometallurgy. Converting in this research is oxidation of copper matte that still has impurities with blowing air. This research is aimed to study some effect for purity of copper matte and its slag by adding the oxygen in air for the air blowing. The variance of oxygen composition in air is 21% O₂, 30% O₂, 40% O₂, 50% O₂. The product from this process is blister and slag with the examined by XRD and XRD to study the composition and its compounds of Cu,Fe,S. The result of this research is the highest composition of Cu by compositon of oxygen at 50%. In this ratio the slag has the less of Cu losses in slag.

Keyword : *converting, oxygen, copper matte, copper blister*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan berkat rahmat, taufiq serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan proyek tugas akhir ini dengan judul :

PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN KOMPOSISI OKSIGEN DI PENGHEMBUSAN UDARA PADA PROSES CONVERTING PADA TEMBAGA MATTE MENJADI *BLISTER*

Dalam penyelesaian proyek tugas akhir ini penulis berpegang pada teori yang pernah penulis dapatkan dan hasil bimbingan dari pembimbing tugas akhir, serta pihak-pihak yang membantu sampai terselesaikannya proyek tugas akhir ini.

Proyek tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis untuk menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS Surabaya sebagai wujud nyata dan implementasi ilmu yang telah diperoleh di bangku kuliah.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga penulisan buku tugas akhir ini selesai. Penulis menyadari bahwa hasil dari proyek tugas akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih terdapat kekurangan yang perlu diperbaiki dan dibenahi. Oleh karena itu kritik dan saran senantiasa penulis harapkan untuk kemajuan di masa yang akan datang. Atas segala kekurangan penulis mohon maaf dan semoga yang telah ada ini dapat bermanfaat bagi semua. Amin.

Surabaya, 26 Januari 2015

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Masalah	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tembaga.....	5
2.2. Mineral Tembaga	6
2.3. Pengolahan Tembaga secara Pirometalurgi	8
2.3.1.Benefikasi	9
2.3.2.Roasting	11
2.3.3.Smelting.....	11
2.3.4.Converting	12
2.4. Pengaruh Kecepatan Hembusan Udara Bebas	13
2.5. Pengaruh Penambahan Kadar Oksigen di Udara Bebas	16
2.6. Tembaga Matte	16
2.7. Tembaga dalam Slag	18
2.8. Termodinamika pada Proses Converting	19
2.9. Stoikiometri.....	22
2.10. Kajian Penelitian Sebelumnya	23

BAB III METODOLOGI

3.1. Diagram Alir	25
-------------------------	----

3.2.	Peralatan dan Bahan	27
3.2.1.	Peralatan Penelitian	27
3.2.2.	Bahan	31
3.3.	Rancangan Penelitian	32
3.4.	Pelaksanaan Penelitian	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Proses Converting Terhadap Tembaga Matte	37
4.2.	Karakterisasi Logam Tembaga dan Matte	37
4.3.	Pengaruh Penambahan Komposisi Oksigen di Udara Bebas Terhadap Peningkatan Kadar Cu pada Tembaga Blister	39
4.4.	Pengaruh Penambahan Komposisi Oksigen di Udara Bebas Terhadap Komposisi Slag	44

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan	49
5.2.	Saran	49

DAFTAR PUSTAKA	xix
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1 Karakteristik Tembaga	5
Tabel	2.2 Penggunaan Sifat-Sifat Tembaga	6
Tabel	2.3 Jenis-jenis Mineral Tembaga.....	7
Tabel	2.4 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa.....	21
Tabel	2.5 Kajian Penelitian Sebelumnya.....	24
Tabel	3.1 Komposisi Awal <i>Matte</i> Tembaga.....	31
Tabel	3.2 Rancangan Studi	32
Tabel	4.1 Daftar Fasa Pada <i>Matte</i> Tembaga.....	38
Tabel	4.2 Komposisi <i>Matte</i> Tembaga.....	39
Tabel	4.3 Komposisi Tembaga <i>Blister</i>	40
Tabel	4.4 Daftar Fase Tembaga <i>Blister</i>	43
Tabel	4.5 Komposisi <i>Slag</i>	44
Tabel	4.6 Daftar Fase Yang Terbentuk Pada <i>Slag</i>	47

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Persebaran Mineral Tembaga yang Ada di Indonesia	8
Gambar 2.2 FlowSheet Pengolahan Bijih Tembaga	10
Gambar 2.3 Rangkaian Alat Converter.....	12
Gambar 2.4 Debit Oksigen yang Dihembuskan	14
Gambar 2.5 Pengaruh Ketinggian Nozzle	15
Gambar 2.6 Grafik Pengaruh Debit Oksigen Pada Kedalaman Lelehan.....	15
Gambar 2.7 Diagram Fase Cu-S	17
Gambar 2.8 Matte Hasil Mini Blast Furnace	18
Gambar 2.9 Diagram Ellingham.....	20
Gambar 3.1 Diagram Alir	25
Gambar 3.2 Muffle Furnace.....	27
Gambar 3.3 Mesin XRD	27
Gambar 3.4 Mesin XRF.....	28
Gambar 3.5 Termometer Infrared.....	28
Gambar 3.6 Timbangan Digital	28
Gambar 3.7 Alat Scooping	29
Gambar 3.8 Cetakan Tembaga dan Slag.....	29
Gambar 3.9 Kompresor	29
Gambar 3.10 Palu	30
Gambar 3.11 Penumbuk	30
Gambar 3.12 Helm Safety	31
Gambar 3.13 Skema Uji XRD	34
Gambar 3.14 Mesin Uji XRF	35
Gambar 4.1 Fasa Yang Terbentuk Pada <i>Matte</i>	38
Gambar 4.2 Kenaikan Kadar Tembaga Pada <i>Blister</i>	40
Gambar 4.3 Fasa Yang Terbentuk Pada <i>Blister</i>	43
Gambar 4.4 Penurunan Kadar Tembaga pada <i>Slag</i>	45
Gambar 4.5 Peningkatan Kadar Besi pada <i>Slag</i>	46
Gambar 4.6 Fasa Yang Terbentuk Pada <i>Slag</i>	47

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang besar. Salah satu contohnya adalah kandungan bijih yang terdapat ini Indonesia seperti besi, tembaga, emas, nikel, timah, batu bara dan sebagainya. Potensi ini merupakan keuntungan Indonesia di bidang teknologi maupun ekonomi baik secara langsung maupun tidak langsung. Bijih-bijih tersebut dapat diolah sehingga mempunyai nilai daya jual yang lebih tinggi dibandingkan bijih yang belum diolah.

Menurut data USGS (*United State Geological Survey*) pada *Mineral Year book Indonesia 2011*, Indonesia merupakan penghasil tembaga terbesar di dunia. Indonesia menghasilkan 542.700 metrik ton (tanpa proses smelting). Data ini menempatkan Indonesia pada urutan ke enam produksi tembaga di dunia. Tetapi menurut data USGS pada *Mineral Year Book Indonesia 2011*, produksi tembaga setelah proses smelting di Indonesia menghasilkan 276.200 metrik ton. Hal ini menandakan Indonesia kurang dalam hal pengolahan mineral tembaga ke tahap lebih lanjut. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan pemerintah pada perundangan-undangan baru, yaitu Peraturan Menteri ESDM Nomor 07 Tahun 2012 dan UU MINERBA No 4. Tahun 2009 tentang peningkatan nilai tambah mineral dan batu bara melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral dan batu bara ekspor *raw material* akan dilarang pada tahun 2014.

Dengan fakta di atas, Indonesia membutuhkan teknologi pengolahan mineral tembaga yang mampu mengolah mineral tembaga nasional. Teknologi pada pengolahan tembaga juga melalui beberapa tahap yaitu *roasting*, *smelting*, *converting* dan *refining*. Setiap proses ini banyak aspek yang ditinjau untuk mencapai hasil yang optimal pada produksi tembaga murni baik secara kualitas maupun kuantitas. Pada proses *converting* yang bertujuan untuk mendapatkan tembaga (*blister*) dengan



kemurnian yang lebih tinggi dan optimalisasi waktu yang dibutuhkan untuk proses *converting*. Proses ini dengan memanaskan tembaga *matte* dan mengalirkan udara dan oksigen sehingga terjadi proses oksidasi. Hasil akhir dari proses *converting* ini adalah tembaga *blister*.

Pada proses *converting*, banyak aspek yang ditinjau seperti waktu pemanasan dan holding, jumlah udara yang digunakan, dan oksigen yang diberikan. Komposisi oksigen pada udara bebas yang normal adalah 21%. Penambahan komposisi oksigen pada udara penghembusan dilakukan untuk meningkatkan kadar Tembaga (Cu) dan memisahkan pengotor menjadi *slag*. Berdasarkan hal itu, maka disusunlah tugas akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Penambahan Komposisi Oksigen Di Penghembusan Udara Pada Proses *Converting* Tembaga *Matte* Menjadi *Blister*”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan Tugas Akhir ini yaitu bagaimana pengaruh variasi penambahan komposisi *oksigen* di penghembusan udara pada proses *converting* tembaga *matte* menjadi *blister*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan komposisi *oksigen* di udara bebas pada proses *converting* terhadap kadar kemurnian tembaga *blister* pada proses *converting*.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mempunyai beberapa manfaat antara lain

1. Membantu pengolahan mineral tembaga dengan deposit kecil yang ada di Indonesia.



2. Memberikan informasi empirik dari pengaruh penambahan komposisi *oksigen* di penghembusan udara pada proses *converting* yang optimal.

1.5. Batasan Masalah

Untuk menganalisa masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yaitu :

1. Temperatur dan tekanan oksigen dianggap konstan.
2. Komposisi oksigen pada udara bebas yang normal dianggap 21%.
3. *Muffle Furnace* hanya dapat mencapai temperatur 1300°C.
4. Unsur yang ditinjau Cu, Fe, dan S
5. Kerja muffle dianggap sempurna



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tembaga

Tembaga adalah sebuah unsur logam ulet dan mampu tempa. Tembaga memiliki sifat konduksi panas dan elektrik yang baik dan juga sifat tahan korosinya maupun *antimicrobial*. Sifat-sifat karakteristik tembaga secara umum dapat dilihat pada tabel 2.1. Tembaga secara alami terdapat di dalam lapisan kulit bumi dalam berbagai bentuk seperti sulfida (*chalcopyrite*, *bornite*, *chalcosite*, *covellite*), dalam bentuk karbonat (*azurite* dan *malachite*), dalam bentuk silikat (*chrysocolla* dan *diopside*) dan juga sebagai tembaga murni. (ICSG, 2012)

Tabel 2.1. Karakteristik Tembaga

Simbol Kimia	Cu
Nomor Atom	29
Berat Atom	63.54
Densitas	8960 kg m ⁻³
Titik Lebur	1356 K
Panas Spesifik cp (293K)	0.383 kJ kg ⁻¹ K ⁻¹
Konduktivitas Termal	394 W m ⁻¹ K ⁻¹
Koefisien Ekspansi Linear	16.5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Elastisitas Modulu Young	110 x 10 ⁹ N m ⁻²
Konduktivitas Elektrik	1.673 x 10 ⁻⁸ ohm-m
Struktur Kristal	Face-Centered Cubic

Sumber : ICSG, 2012

Tembaga memiliki konduktifitas panas dan listrik yang tinggi. Konduktifitas termal dari tembaga 10 kali lebih tinggi dari baja. Ini membuat tembaga lebih baik untuk *chill*, *casting molds*,



dan aplikasi aplikasi lain yang membutuhkan perubahan cepat oleh panas. Titik lebur tembaga adalah 1981°F (1092°C). Namun oksida terbentuk ketika tembaga terpapar oleh panas atau kondisi lingkungan periode yang panjang. *Surface treatments* membantu memelihara penampilan tembaga dalam hal ini. (Horath, 2001)

Tabel 2.2 Penggunaan Sifat-Sifat Tembaga (*Copper Development Association*) dan Aplikasinya

No	Sifat yang dimanfaatkan	% dari penggunaan total
1	Konduktifitas listrik	61
2	Ketahanan korosi	20
3	Konduktifitas termal	11
4	Sifat mekanik dan struktural	6
5	Seni	2
No	Aplikasi	% dari penggunaan total
1	Konstruksi bangunan	40
2	Produk-produk elektronik	25
3	Mesin dan peralatan industri	14
4	Peralatan transportasi	11
5	Barang-barang konsumen	10

Sumber : Davenport, 2002

Tembaga mudah difabrikasi menjadi kawat, pipa, lembaran dan lain-lain. Sifat-sifat tembaga seperti konduktifitas listrik, konduktifitas termal dan ketahanan korosi ialah sifat yang paling banyak dimanfaatkan, hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Devenport, 2002).



2.2. Mineral Tembaga

Lebih dari 200 mineral mengandung unsur tembaga dengan variasi jumlah yang berbeda, tetapi hanya 20 jenis mineral yang penting sebagai bijih tembaga (Tabel 2.3) atau sebagai batuan semi-berharga (*turquoise* dan *malachite*). Tembaga merupakan tipe unsur *chalcophilic*. Oleh karena itu prinsip dasar mineral adalah sulfida, kebanyakan *chalcopyrite*, *bornite*, dan *chalcocite* yang sering disertai *pyrite*, *galena*, dan *sphalerite*. (Fathi Habashi, 1997).

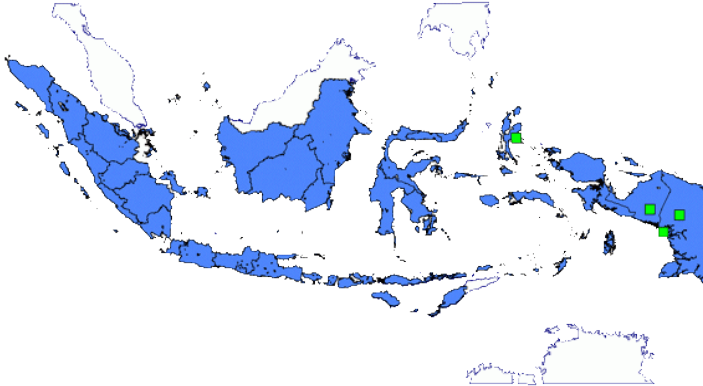
Tabel 2.3 Jenis-jenis mineral tembaga

Mineral	Formula	%Copper
<i>Native Copper</i>	Cu	99.92
<i>Chalcosite</i>	Cu_2S	79.9
<i>Covellite</i>	CuS	66.5
<i>Chalcopyrite</i>	CuFeS_2	34.6
<i>Bornite</i>	$\text{Cu}_5\text{FeS}_4/\text{Cu}_3\text{FeS}_3$	55.5-69.7
<i>Tennantite</i>	$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$	42-52
<i>Tetraedrite</i>	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	30-45
<i>Energite</i>	Cu_3AsS_4	48.4
<i>Bournonite</i>	CuPbSbS_3	13.0
<i>Cuprite</i>	Cu_2O	88.8
<i>Tenorite</i>	CuO	79.9
<i>Malachite</i>	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	57.5
<i>Azurite</i>	$2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	55.3
<i>Chrysocolla</i>	$\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	30-36
<i>Anlerite</i>	$\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$	53.8

Sumber : Fathi Habashi, 1997



Di Indonesia sendiri, mineral tembaga tersebar di berbagai daerah. Peta persebaran mineral tembaga yang ada di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Peta Persebaran Mineral Tembaga yang Ada di Indonesia

2.3. Pengolahan Tembaga secara Pirometalurgi

Dalam skema pengolahan mineral tembaga, ada beberapa istilah penting antara lain unit proses, unit operasi dan *flow sheet*. Unit proses ialah suatu langkah yang dicirikan oleh suatu reaksi kimia tertentu. Unit operasi ialah suatu langkah yang disirikan oleh fitur-fitur fisik tertentu. (Rosenqvist, 2004).

Di sisi lain, *flowsheet* adalah proses atau kombinasi proses yang digunakan dalam sebuah gambaran pabrik, yang mana terdiri dari unir proses dan unit operasi. Tiap mineral memiliki *flow sheet* nya sendiri-sendiri, berbeda antara mineral satu dengan mineral lainnya (Rosenqvist, 2004). Pengolahan tembaga memiliki flow sheet tertentu yang mana terdiri dari *crushing*, *grinding*, *flotasi*, *roasting*, *smelting*, *blowing*, *fire refining* dan



elektrolitik *refining*. *Flow sheet* pengolahan mineral tembaga diperlihatkan pada gambar 2.2

2.3.1 Benefikasi

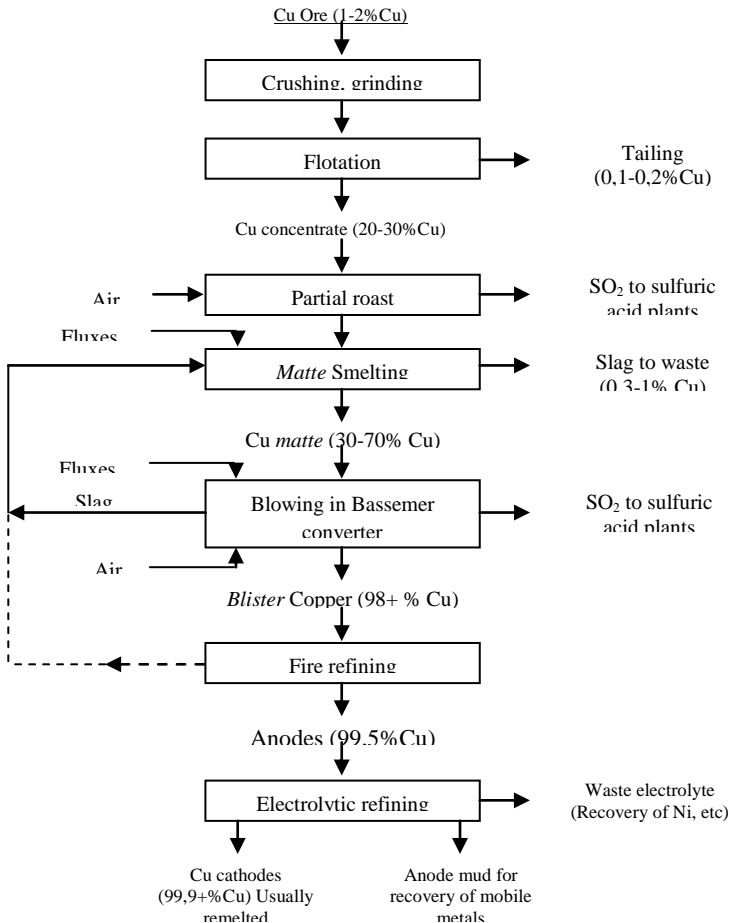
Sebelum dimasukkan ke smelter, mineral harus dibenefikasi. Benefikasi ialah bagian proses ekstraksi yang mana tujuannya ialah meningkatkan sifat fisik dan kimia mineral. Untuk proses benefikasi *high-grade ore* caranya dengan crushing sehingga membentuk *fine ore* dan *lump ore* (mineral kasar). Sedangkan *low-grade* caranya dengan urutan : *washing, screening, magnetic separation, concantration* dll. Hasil dari benefikasi ini dinamakan sebagai konsentrat. Baik fine ore maupun konsentrat harus digumpalkan (diagglomerasi) sebelum masuk ke BF, karena jika ore atau partikel serbuk terlalu halus, maka tidak bisa menyediakan *counter flow* (turun) yang baik dan gas yang naik. Dua cara aglomerasi yang umum digunakan ialah *sintering* dan *pelletizing*. *Sintering* untuk *fine ore*, sedangkan *pelletizing* untuk konsentrat (Babich dkk, 2008).

Impuritas dalam ore dibagi menjadi impuritas yang berguna dan yang membahayakan. Impuritas yang membahayakan antara lain S, P, As, Zn, Pb, Na, K. Zn dan Pb dapat merusak lapisan refraktori dengan mengurangi life time dari *Blast Furnace*. Alkali menyebabkan pengurangan kekuatan kokas dan pellet, mengganggu distribusi gas dan pengaliran produk likuid (Babich dkk, 2008).

Crushing mineral tembaga dilakukan dengan menggunakan *jaw crusher* atau dengan crusher-crusher lainnya, sedangkan *grinding* dilakukan dengan menggunakan *ball mill*. Tujuan dari *crushing* dan *grinding* ini ialah untuk mengecilkan ukuran mineral hingga ukuran tertentu yang diijinkan masuk ke *smelter*. Setelah mineral dikecilkan ukurannya, kemudian dilakukan konsentrasi yaitu dengan metode flotasi. Metode flotasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan kadar Cu dalam mineral dengan cara memanfaatkan sifat hidrofilik dan hidrofobik antara



mineral dan *gangue* terhadap cairan flotasi. Teknik flotasi yang paling sering digunakan ialah *Froth Flotation* yang menggunakan bermacam-macam reagen untuk memisahkan Cu dari unsur-unsur pengotornya. (Babich dkk, 2008).



Gambar 2.2 Flow Sheet pengolahan bijih tembaga (Rosenqvist, 2004)



2.3.2 Roasting

Roasting disini bertujuan untuk menghilangkan impuritas yang ada pada konsentrat. Biasanya, konsentrat mengandung 10-56% air. Mineral tembaga tadi dipanaskan hingga temperatur 590°C. Impuritas-impuritas seperti arsenik, raksa dan beberapa belerang hilang, belerang dihilangkan dengan cara pembentukan gas SO₂. Yang tersisa ialah produk oksidasi yang mengandung persentase belerang yang cukup rendah untuk smelting. Reaksi yang terjadi pada saat *roasting* ialah sebagai berikut:



Kemudian, tembaga (I) sulfida dirubah menjadi tembaga dengan tiupan udara akhir.



Pada 2005, *roasting* tidak lagi umum digunakan pada perlakuan konsentrat. Teknologi yang sedang umum digunakan ialah smelting langsung, seperti : *flash smelting*, Noranda, USA *smelting*, Mitsubishi atau dapur EL Temento (Babich dkk, 2008).

2.3.3 Smelting

Tujuan dari *smelting* ialah menghilangkan unsur selain Cu pada mineral tembaga, bisa dengan cara mengoksidasi atau dengan cara mereduksi dengan gas tanur untuk memproduksi fasa likuid sulfida yang kaya akan Cu (*matte*). Produk dari proses smelting ini antara lain (i) *matte* likuid sulfida (45-75% Cu) dan (ii) *slag*. Secara teori, konsentrat dapat direduksi langsung hingga menghasilkan logam tembaga dengan mengoksidasikan unsur sulfida menjadi tembaga dan oksida besi. Selain itu, proses *smelting* juga menghasilkan gas luar berupa SO₂ (10 – 60% SO₂).

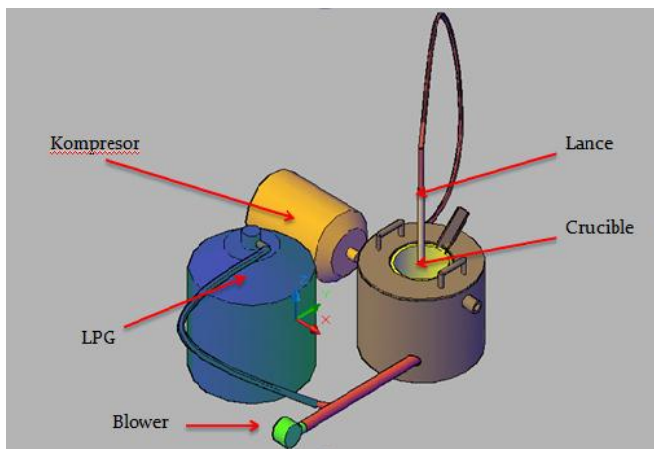


SO₂ ini berbahaya terhadap lingkungan, sehingga SO₂ ini harus dihilangkan sebelum dilepaskan ke lingkungan. Hal ini sering dilakukan dengan penangkapan gas SO₂ sebagai asam sulfurik. Berbagai jenis smelter dapat digunakan untuk proses smelting ini antara lain Mitsubishi, Outokumpu, Flash dan lain-lain (Devenport, 2002).

2.3.4 Converting

Converting adalah proses oksidasi Cu-Fe-S *matte* cair menjadi tembaga *blister* cair (99%Cu). Proses ini memerlukan oksidasi Fe dan S dari *matte* dengan udara yang diperkaya oleh oksigen atau hembusan udara. Material utama untuk proses *converting* adalah Cu-Fe-S *matte* dari proses smelting. Material tambahan lain pada proses ini termasuk silika *flux*, udara dan oksigen. Terdapat beberapa macam pada proses *converting*, yaitu:

1. *Batch Converting* : Piere-Smith Converter
2. *Continuous Converting* : Outkompu Flash, Mitsubishi Continuous, Noranda Continuous



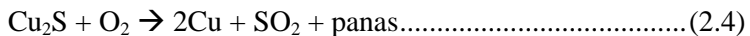
Gambar 2.3 Rangkaian Alat Converting



Pada umumnya proses *converting* ini dilakukan pada konverter silindrik Pierce-Smith. Produk dari proses ini adalah tembaga *blister* cair, *slag* besi-silikat, dan gas SO₂. *Matte* yang berupa cairan (1200°C – 1300°C) ditransfer dari smelter ke dalam ladle dan dituangkan ke dalam konverter melalui saluran terpusat yang besar. Kemudian *matte* tadi ditiupkan oksigen (*blast*) dan konverter diputar. Panas yang digunakan proses *converting* dihasilkan dari proses oksidasi Fe dan S yang merupakan proses autotermal. (Davenport, 2002)

Converting terjadi pada dua daerah yaitu :

- *Coppermaking* adalah daerah di mana sulfur dalam Cu₂S dioksidasi menjadi SO₂. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada Coppermaking :



- *Slag Forming* adalah daerah di mana Fe dan S dioksidasi menjadi FeO, Fe₃O₄, dan SO₂. Berikut ini adalah reaksi yang terjadi pada *Slag Forming* :



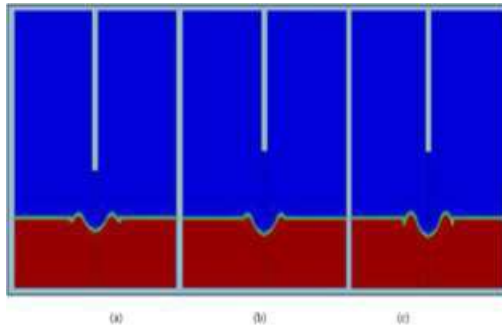
Proses *converting* yang terdiri dari kedua reaksi tersebut merupakan proses yang bertahap. Tahapan yang pertama merupakan reaksi pembentukan *slag* yaitu oksidasi besi. Lalu tahapan yang kedua adalah reduksi sulfur dari tembaga sulfida untuk mendapatkan logam tembaga murni. Diagram fasa Cu dengan S dapat dilihat pada gambar 2.7.

2.4. Pengaruh Kecepatan Hembusan Udara Pada Proses *Converting*

Kecepatan hembusan pada proses *converting* sangatlah penting. Karena penghembusan oksigen pada lelehan mampu mengoksidasi FeS dan CuS pada lelehan.. sehingga kedalaman



hembusan sangat berpengaruh pada proses *converting*. reaksi ini bersifat eksotermal. Atau reaksi yang mengeluarkan panas. Jadi debit yang dihembuskan pada proses ini sangat mempengaruhi proses oksidasi pada lelehan. (SC Korla, 1991)



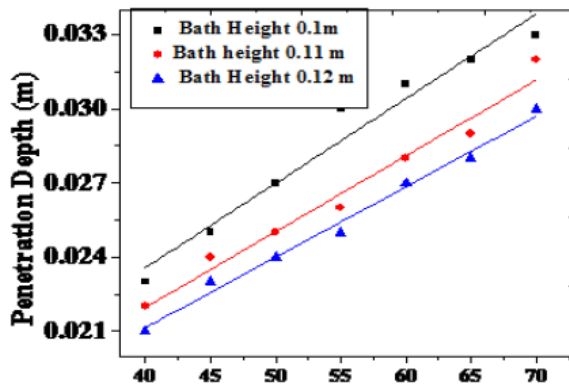
Gambar 2.4 Debit oksigen yang dihembuskan pada lelehan dengan jarak 10cm (a) 40 Lt/min, (b) 45 Lt/min, (c) 50 Lt/min. (M. K. Mondal, 2013)

Pada proses *converting*, semakin besar debit yang di hembuskan pada lelehan maka akan semakin dalam penetrasi yang terjadi. Sehingga membentuk cekungan yang teratur dan proses agitasi bisa berjalan dengan sempurna. Dapat dilihat pada gambar 2.4 dan grafik 2.6 untuk peningkatan kedalaman yang berhasil dicapai pada debit tertentu. (M. K. Mondal, 2013)

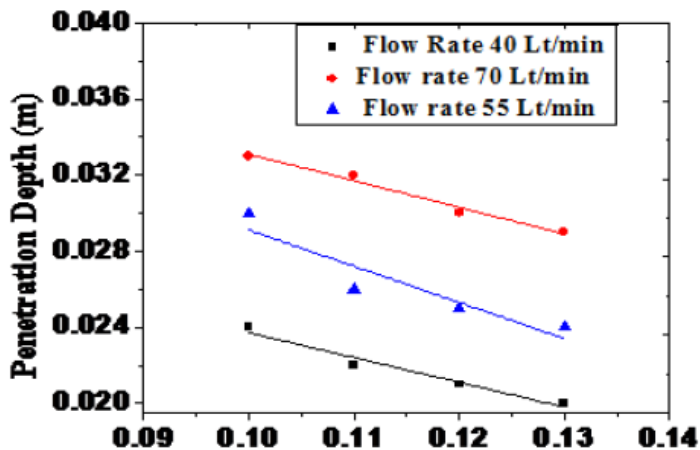
Selain kecepatan debit oksigen, jarak dari nozzle terhadap lelehan juga berpengaruh pada kedalaman yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada grafik 2.5 semakin tinggi jarak nozzle terhadap lelehan kedalaman hembusan akan semakin berkurang. Karena oksigen yang dihembuskan akan berinteraksi langsung dengan udara bebas yang ada disekitar dan hal itu mempengaruhi hembusan oksigen pada lelehan. Namun pada debit oksigen yang tinggi dan jarak nozzle terhadap lelehan yang semakin dekat. Akan menghasilkan kedalaman yang tinggi sehingga membentuk



cekungan yang teratur dan mengoptimalkan terjadinya proses oksidasi. (M. K. Mondal, 2013)



Gambar 2.5 Pengaruh ketinggian Nozzle terhadap kedalaman penetrasi pada lelehan. (M. K. Mondal, 2013)



Gambar 2.6 Pengaruh debit oksigen pada kedalaman Lelehan. (M. K. Mondal, 2013)



2.5. Pengaruh Pengkayaan Komposisi Oksigen di Penghembusan Udara Pada Proses *Converting*

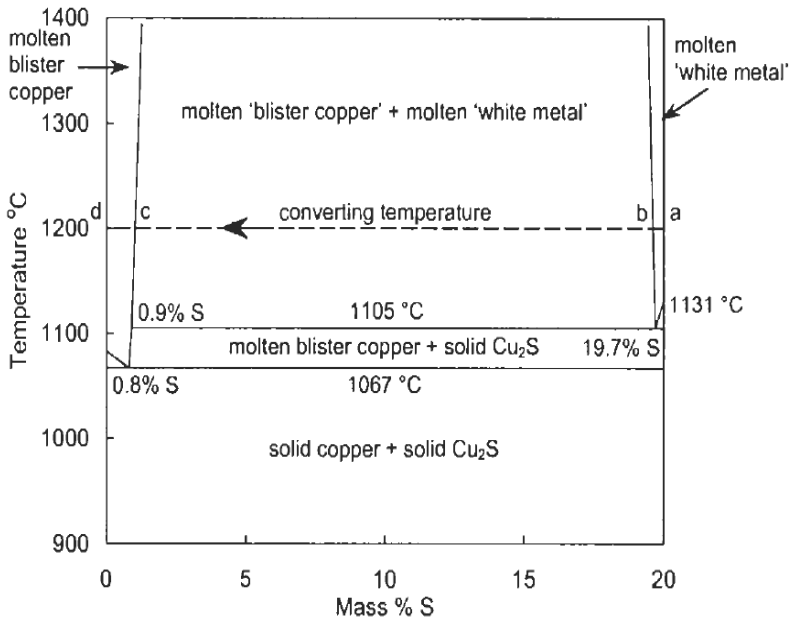
Penambahan komposisi oksigen pada udara bebas diperlukan untuk :

- Meningkatkan laju oksidasi.
- Konsentrasi SO_2 pada gas yang keluar meningkat.
- Mengurangi Jumlah N_2 sebagai pendingin yang masuk kedalam converter.
- Mendapatkan kadar Cu yang tinggi tetapi dengan biaya produksi yang seminimal mungkin (Davenport, 2002).

2.6. Tembaga *Matte*

Proses smelting menghasilkan dua fasa lelehan yang tidak dapat terlarut. Lelehan yang pertama adalah fasa sulfida yang banyak dengan kadar tembaga yang tinggi (*matte*) dan yang kedua adalah fasa oksida (*slag*). Pada pengolahan tembaga, *matte* merupakan hasil dari setengah pengolahan tembaga. (fathi Habashi, 2007)

Matte merupakan sistem ternary dari Cu-Fe-S. Komposisi dari pirometalurgi tembaga *matte* dan fasa likuid batas yang tidak akan tercampur antara *matte* dan fasa logam dapat dilihat pada gambar 2.7 pada keadaan likuid, tembaga *matte* adalah campuran homogen dari sulfida tembaga(I) dan besi(II), yang disebut dengan sistem pseudobinary $\text{Cu}_2\text{S-FeS}$.



Gambar 2.7 Diagram Fase Cu-S (Davenport, 2002)

Arsenida, dan antimonida terlarut dalam lelehan *matte*, tetapi kelarutan kedua unsur tersebut akan menurun seiring dengan peningkatan presentase dari tembaga dalam *matte*. Berdasarkan hal itu, saat konsentrasi arsenic tinggi, fase spesial, dapat disebut dengan speiss, dapat dipisahkan. Ini dihasilkan dengan kondisi reduksi pada blast furnace, dan proses dekomposisi yang cukup sulit.

Viskositas *matte* rendah yaitu sekitar 0,003kg/m.s. *Slag* memiliki viskositas 0,2 hingga 1 kg/m.s. Pada proses smelting yang beroperasi pada temperatur 1250°C, penuangan *matte* dan *slag* harus dijaga agar tetap dalam kondisi lelehan. Tegangan permukaan *matte* memiliki nilai 0,33 hingga 0,45N/m, meningkat seiring dengan peningkatan kadar Cu₂S. Temperatur hanya



berdampak sedikit pada tegangan permukaan. (Nakamura, 1988). *Specific gravity matte* memiliki jarak antara 3,9 dengan komposisi FeS murni dan 5,2 untuk Cu_2S murni. Nilai ini menurun dengan peningkatan temperatur. (Davenport, 2002)



Gambar 2.8 Matte Hasil Mini Blast Furnace Institut Teknologi Sepuluh Nopember

2.7. Tembaga dalam Slag

Dalam proses pyrometalurgi produksi tembaga cair terdiri dari dua *slag*, *smelting* dan *converting*. *Smelting furnace slag* mengandung 1-2%Cu. Presentase ini meningkat pada *matte*. *Slag* hasil *converting* mengandung 4-8%Cu. Presentase ini menandakan adanya peningkatan %Cu dalam *matte* pada *converting*. (Davenport, 2002)

Untuk melarutkan Cu maka direaksikan dengan ion O^{2-} (Cu_2O) atau dengan ion S^{2-} (Cu_2S). Cu_2O menjadi bentuk yang dominan dari Cu terlarut pada grade *matte* di atas 70% Cu_2S , dengan aktifitas Cu_2S yang relatif tinggi maka reaksinya sebagai berikut :



Dengan reaksi ini Cu yang terlarut dalam *slag* converter muncul kebanyakan sebagai Cu_2O . (Davenport, 2002)



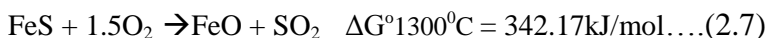
Menurunkan tembaga dalam *slag* dapat dilakukan dengan cara meminimalisir konsentrasi Cu dalam *slag* dengan cara

- Memaksimalkan fluiditas *slag*, dengan menghindari keberadaan $\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{s})$ dalam *slag* dan menahan *slag* tetap panas.
- Menyediakan SiO_2 yang cukup untuk memisahkan fase *slag* dan *matte*
- Menghindari ketebalan lapisan yang terlalu tinggi pada *slag*
- Menjaga tapping *matte* dengan *slag*

(Davenport, 2002)

2.8. Termodinamika pada Proses *Converting*

Tujuan dari proses *converting* adalah untuk mengilangkan pengotor seperti besi, sulfur dan pengotor lainnya dan menghasilkan *blister* tembaga (99% Cu) dan *slag*. Tahap pertama dalam proses *converting* adalah menghilangkan *slag*, yaitu oksidasi dari besi sulfur dengan cara menyemprotkan udara dan oksigen dalam *matte* $\text{Cu}_2\text{S}-\text{FeS}$ untuk menghasilkan FeO dan SO_2 .

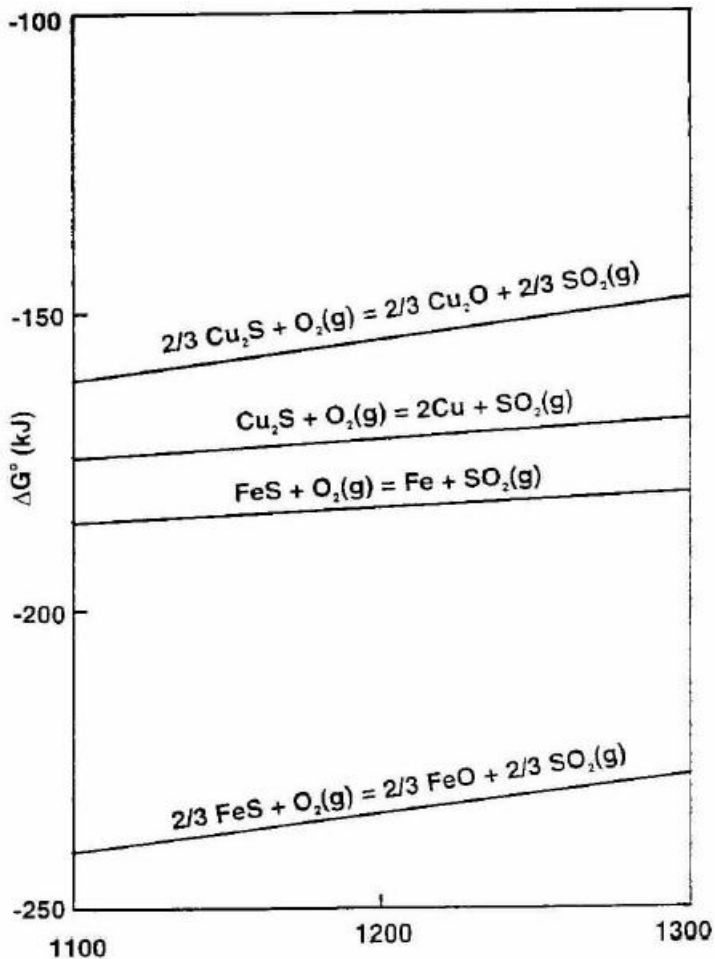


Udara bebas dan oksigen yang dihirupkan kedalam *matte* adalah untuk proses oksidasi dari FeS menjadi FeO , dilihat dari energi bebas Gibbs maka nilai dari energi bebas Gibbs dari reaksi diatas minus maka reaksi akan dengan spontan terjadi, ini juga dilihat dari diagram Ellingham pada gambar 2.9 Pada kondisi standar. Energi bebas Gibbs dari formasi primer menyatakan urutan dari proses oksidasi komponen *matte* dan energi bebas yang mempunyai nilai terendah maka akan teroksidasi terlebih dahulu. (Rajneet Kaur, 2007)

Dapat dilihat juga pada Tabel 2.4 menunjukkan beberapa sifat termodinamik yang penting dalam perhitungan



termodinamika dalam proses smelting dan converting mineral tembaga. Sifat yang paling penting pada proses ini adalah Cu_2S , FeO , SO_2 dan O_2



Gambar 2.9 Diagram Ellingham



Tabel 2.4 Sifat Termodinamika Beberapa Senyawa

No.	Elemen	ΔH_{298} (kJ/mol)	ΔS_{298} (J/molK)	Temperatur Transisi (K)	C_p (J mol ⁻¹ K ⁻¹)	ΔH_{fus} (kJ/mol)
1	Kalkosit (Cu ₂ S (α))	-80,115	120,9	298	81,59	-80,115
	Cu ₂ S (β)			376	97,28	-82,216
	Cu ₂ S (γ)			623	85,02	-75,618
	Cu ₂ S (L)			1400	85,02	- 151,146
2	Cu _(l)	9,31	33,2	298 – 1365	22,64 + 6,28 x 10 ⁻³ T	-12,97
				1365 - 1600	31,38	
3	CuS	-53,1	66,5	-	-125,13 + 0,0567T + 0,8422T ^{1/2}	-
4	O _{2(g)}	0	205,2	-	29,96 + 4,184 x 10 ⁻³ T – 1,67 x 10 ⁵ T ⁻²	-
5	FeO _(s)	-264,4	60,7	-	64,07	-
7	SO _{2(g)}	-296,85	248,2	-	43,43 + 10,63 x 10 ⁻³ T – 5,94 x 10 ⁵ T ⁻²	-
11	CuO	-157,31	42,6	-	60,18	-
12	Fe ₃ O ₄	-1118,4	146,4	298-900	297,3	-
				900-3000	199,3	
14	FeS	-100,0	60,3	298-411	95,05	-
				411-598	72,3	
				598-1463	168,5	
				1463- 3800	195,6	



Dapat dilihat dari diagram Ellingham diatas maka terlihat garis yang paling bawah mempunyai energi bebas Gibbs yang paling rendah dan produknya lebih stabil. Dilihat dari diagram Ellingham juga maka terlihat bahwa sulfida besi dalam Cu_2S -FeS *matte* akan teroksidasi menjadi oksida besi lebih dahulu dibandingkan dengan perubahan tembaga sulfida menjadi tembaga oksida atau bahan Cu_2S menjadi tembaga. proses dari *smelting* dan *converting* dasarnya adalah menghilangkan FeO yang lebih stabil dan dilihat dari energi bebas Gibbs formasi dari FeO per mol oksigen lebih bernilai negatif dibandingkan tembaga oksida atau tembaga. Dari diagram Ellingham diatas maka didapatkanlah urutan-urutan dalam proses menghilangkan pengotor dalam tembaga, pertama adalah besi sulfida yang dihilangkan dari *matte* menjadi FeO dan menghasilkan Cu_2S dengan kurang dari 2-wt% besi. Lalu ada proses pembentukan *blister* tembaga dari tembaga sulfida, disini terdapat lagi tiga tahapan dilihat dari gambar 2.7 Diagram fase Cu-S, saat oksigen disemprotkan ke Cu_2S sulfur akan keluar menjadi SO_2 . Didapatkanlah persamaan berikut:



Diagram Ellingham juga menjelaskan bahwa oksidasi dari tembaga sulfida menjadi metal tembaga lebih siap dibandingkan dengan tembaga oksida. Ini dilihat dari nilai energy bebas Gibbs yang lebih rendah. (Rajneet Kaur, 2007)

2.9. Stoikiometri

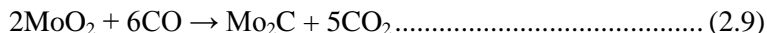
Kebanyakan masalah keseimbangan material meilbatkan reaksi kimia. Ini membutuhkan penyeimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia, pemahaman penyusunan atom saat reaksi kimia, dan merepresentasikan reaksi kimia dengan persamaan stoikiometri.(Arthur, 2011)



Jumlah substansi satuan mol dikembangkan sebagai perhitungan satuan nomor atom dalam 0,012kg dari isotop atom karbon 12, di mana $6,02214 \times 10^{23}$. Angka ini disebut sebagai bilangan Avogadro (N_A). Massa dari satu mol sebuah elemen dalam bentuk atom sebanding dengan massa atom dalam gram.(Arthur 2011)

Penulisan reaksi kimia yang benar adalah pemahaman yang krusial yang terjadi pada sebuah proses. Rumus kimia dari reaktan dan produk menunjukkan jumlah elemen yang dibutuhkan untuk membuat senyawa. Reaksi kimia memberikan informasi pada jumlah relatif setiap elemen yang bereaksi. Jumlah relatif dari reaktan dan produk diberikan dengan koefisien dalam koefisien kesetimbangan.(Arthur, 2011)

Berikut ini adalah contoh reaksi kesetimbangan pada reduksi karbida molibdenum dengan karbon monoksida.



Dengan persamaan reaksi ini dapat ditentukan jumlah mol, massa, volume yang terjadi pada reaksi tersebut dengan stoikiometri kesetimbangan reaksi.

2.5 Kajian Penelitian Sebelumnya

Penelitian tentang converting sebelumnya dapat dilihat pada tabel 2.5 di bawah ini.

**Tabel 2.5** Kajian Penelitian Sebelumnya

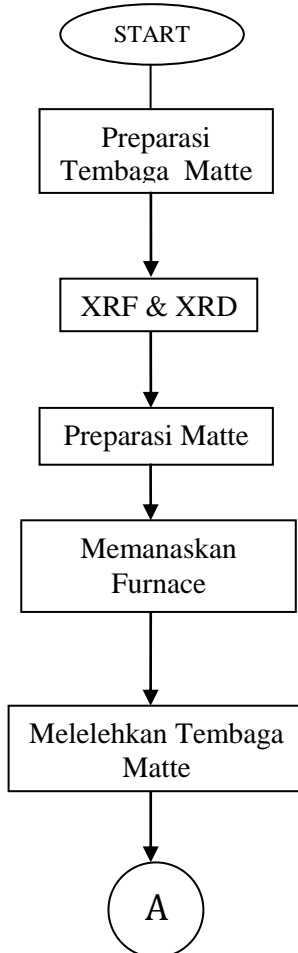
No	Penelitian	Oleh (Tahun)
1	Refining Tembaga	Walter O. Snelling (1932)
2	Refining Tembaga dan Penambahan Flux	Canning, Jr (1982)
3	Permodelan Injeksi Gas pada Pierce Smith Converter	Jussi Vaarno (1997)
4	Permodelan Kinetik pada Elemen Utama saat Proses Converting	A.K Kylo (1998)
8	Permodelan <i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD) pada Parameter Proses Pencampuran pada Pierce Smith Converter dengan Perbandingan Permodelan Fisika	Deside K. Chibwe dkk (2011)
10	Oksidasi Desulfurisasi pada Slag Tembaga	LI Lei dkk (2012)
11	Permodelan Computational Fluid Dynamics (CFD) pada Aliran Fluida pada Pierce Smith Converter Dengan Menggunakan Lebih Dari Satu Poin Injeksi	Aaron Almaraz (2013)

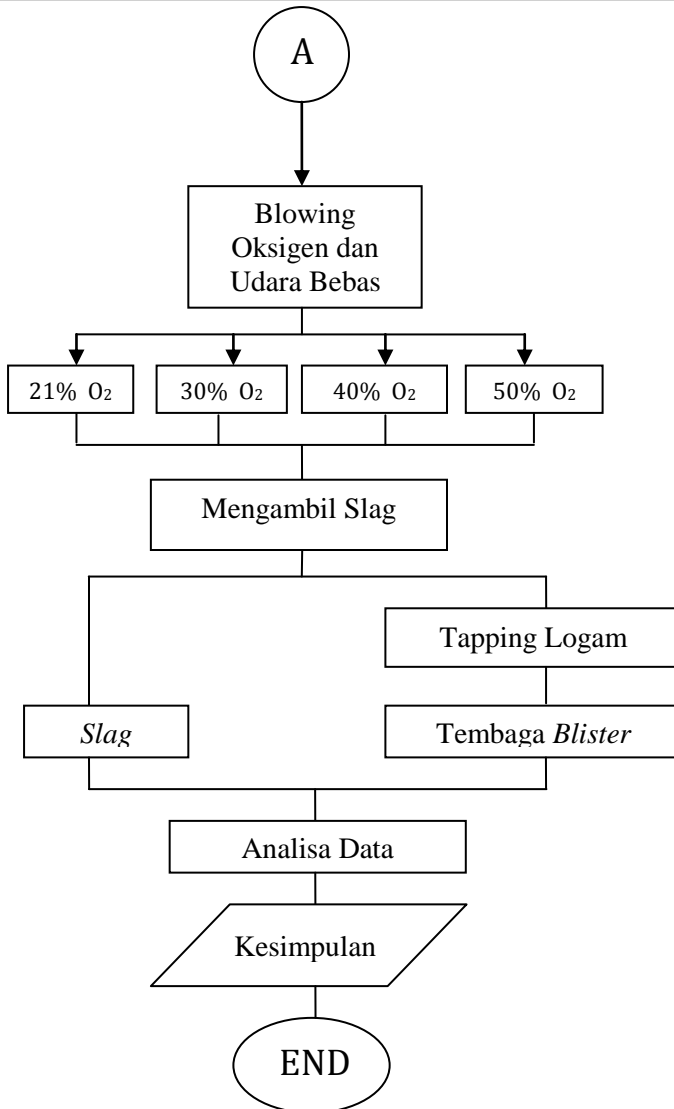


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat diagram alir seperti dibawah ini:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

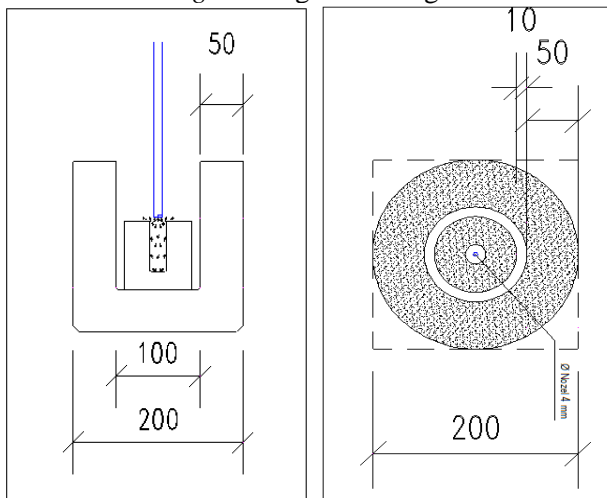


3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat-alat Penelitian:

1. *Muffle Furnace*

Muffle furnace digunakan untuk memanaskan kembali produk hasil proses smelting. Proses ini bertujuan untuk memisahkan *slag* dan logam tembaga.



Gambar 3.2 Muffle Furnace

2. Mesin XRD

XRD ini berfungsi untuk mengetahui senyawa yang terbentuk pada bahan dan hasil penelitian.



Gambar 3.3 Mesin XRD



3. Mesin XRF

XRF berfungsi sebagai alat uji kadar yang ada pada bahan dan hasil penelitian.



Gambar 3.4 Mesin XRF *Portable*

4. Termometer infrared

Termometer infrared mempunyai fungsi untuk mendeteksi temperatur dari tembaga cair dan panas dari *muffle furnace*.



Gambar 3.5 Termometer Infrared

5. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur berat *matte* yang kita gunakan untuk penelitian.



Gambar 3.6 Timbangan Digital



6. Alat *scooping*

Alat *scooping* digunakan untuk proses pengambilan *slag* saat penelitian.



Gambar 3.7 Alat Scooping Slag

7. Cetakan tembaga

Cetakan tembaga mempunyai fungsi untuk memproduksi tembaga cair yang sudah mengalami proses *converting*.



Gambar 3.8 Cetakan Tembaga

8. Kompresor

Kompresor berfungsi sebagai pengalir udara yang dimasukkan saat proses *blowing* gas oksigen saat *matte* tembaga sudah mencair sempurna.



Gambar 3.9 Kompresor



9. Palu

Palu berfungsi sebagai penghancur *slag* yang tertempel saat proses penyendokan slag.



Gambar 3.10 Palu

10. Obeng

Obeng berfungsi untuk mengencangkan sambungan antara *lance* dan kompresor.

11. Penumbuk

Penumbuk berfungsi untuk menghaluskan dari *matte* tembaga untuk pengujian. Selain itu diakhir penelitian juga dibutuhkan untuk menghaluskan dari *slag* untuk pengujian.



Gambar 3.11 Penumbuk

12. Helm Safety

Helm safety digunakan untuk peralatan safety saat melakukan proses converting terutama saat meniupkan udara ke cairan logam.



Gambar 3.12 Helm Safety

13. Sarung Tangan Safety

Sarung tangan safety juga dibutuhkan untuk peralatan safety agar terlindung oleh panas furnace saat proses berlangsung.

3.2.2 Bahan-bahan Penelitian:

1. *Matte* Tembaga

Matte tembaga adalah bahan utama dalam penelitian ini, memiliki kadar Cu 40-50% yang terikat dengan sulfur dan pengotor seperti Fe dan Si. Adapun hasil dari pengujian XRF awal dari *matte* tembaga:

Tabel 3.1 Komposisi Awal *Matte* Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)
<i>Matte</i>	41.01	10.93	9.89

2. Gas Oksigen

Gas oksigen didapatkan dari kompresor dan tabung oksigen dengan menggunakan flow yang sebesar 12,5 l/menit



3. Gas LPG

LPG digunakan sebagai bahan bakar dari *muffle furnace*. Sehingga, dengan memanfaatkan LPG, temperatur pada *muffle furnace* dapat mencapai temperatur tertentu (1500°C).

3.3 Rancangan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian, rancangan penelitian seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian Pengaruh Variasi Penambahan Komposisi Oksigen pada Penghembusan Udara (dalam persen) Terhadap Hasil Proses Converting

No.	Komposisi oksigen di udara bebas (%)	Komposisi Tembaga <i>Blister</i>	Komposisi <i>Slag</i>
1	21		
2	30		
3	40		
4	50		

3.4 Pelaksanaan Penelitian:

3.4.1 Persiapan Sample Pengujian Awal:

Pertama-tama dalam penelitian ini ada langkah persiapan sample untuk mengetahui komposisi dari mineral tembaga sendiri yang digunakan dalam penelitian:

1. Menyiapkan *matte* tembaga dan melakukan penggerusan atau pengecilan ukuran dari *matte* hingga berbentuk serbuk.



3.4.2 Persiapan Alat dan Bahan untuk Proses Converting:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan,
2. Mengecilkan ukuran *matte* tembaga sehingga dapat masuk kedalam crucible,
3. Menimbang *matte* tembaga sesuai tiap variabel,
4. Memanaskan *muffle furnace* hingga crucible memerah temperatur lebih dari 900°C,
5. Memasukkan *matte* tembaga sedikit demi sedikit hingga semua *matte* tembaga meleleh sempurna,
6. Menyendok *slag* yang terbentuk diatas permukaan logam cair,
7. Meniupkan udara dari kompresor dan tabung oksigen kedalam logam cair hingga waktu tertentu,
8. Menuangkan *slag* kedalam cetakan,
9. Menuangkan logam kedalam cetakan,
10. Membuka cetakan dan melakukan sampling, untuk logam dipotong menggunakan grinda dan untuk *slag* dihaluskan menggunakan penumbuk,
11. Menguji XRD dan XRF hasil tembaga *blister* dan *slag*,
12. Menganalisa hasil.

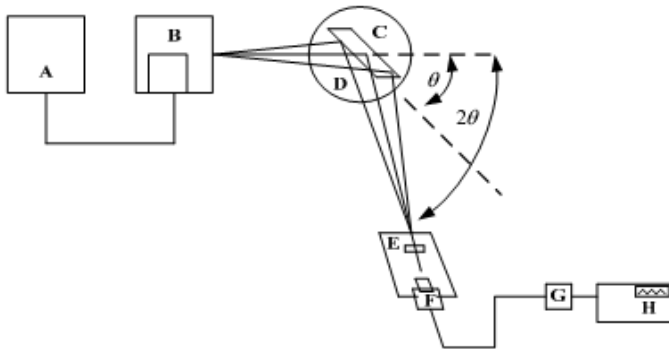
3.4.3 Pengujian Sampel

1. XRD (X-Ray Diffractometer)

X-Ray Diffractometer adalah alat yang dapat memberikan data-data difraksi dan kuantitas intensitas difraksi pada sudut-sudut difraksi (2θ) dari suatu material. Tujuan dilakukannya pengujian analisis struktur Kristal adalah untuk mengetahui perubahan fasa struktur bahan dan mengetahui fasa apa saja yang terbentuk selama proses pembuatan sampel uji.



Karakterisasi ini dilakukan menggunakan alat difraktometer Sinar X, adapun prinsip kerja XRD ditunjukkan oleh Gambar 3.17 berikut :



Gambar 3.13 Skema Uji XRD

Keterangan gambar :

- Generator tegangan tinggi (A) berfungsi sebagai sumber sinar-X (B)
- Sampel berbentuk pellet (C) diletakkan pada holder (D)
- Berkas sinar X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah (E), kemudian masuk ke alat pencacah (F). Apabila sampel berputar sebesar 2θ maka alat pencacah berputar sebesar θ .
- Intensitas difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva terhadap jarak antara bidang D.

2. XRF (X-Ray Fluorescence)

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari hasil ekstraksi maka dilakukan pengujian pada sampel hasil ekstraksi menggunakan XRF. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisis kandungan unsur dalam bahan yang menggunakan metode spektrometri. Alat ini mempunyai



keunggulan analisis yaitu lebih sederhana dan lebih cepat dibanding analisis dengan alat lain. Alat XRF merupakan alat uji tak merusak yang mampu menentukan kandungan unsur dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 3.14 Mesin Uji XRF



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses *Converting* Terhadap Tembaga *Matte*

Pemurnian logam tembaga dan ekstraksi *matte* dilakukan dengan menggunakan proses *converting*. *Matte* yang masih memiliki unsur pengotor seperti Fe dan S dimurnikan dengan peleburan *Matte* hingga menjadi lelehan ($T=1200-1300^{\circ}\text{C}$) lalu di hembuskan udara bebas dan oksigen. Pada penelitian ini, penghembusan menggunakan udara bebas dan oksigen dengan debit yang sama yaitu 12,5 Lt/menit dan dengan waktu 10 menit. Udara bebas dan oksigen yang dihembuskan pada penelitian ini dilakukan dari atas langsung ke permukaan lelehan yang memiliki komposisi 21% O_2 , 30% O_2 , 40% O_2 , dan 50% O_2 . Penghembusan oksigen bertujuan untuk mengoksidasi pengotor yang ada pada *matte* yaitu Fe, S, dan lain lain sehingga menjadi *slag*. Reaksi oksidasi ini bersifat eksotermal, reaksi yang mengeluarkan panas, sehingga terjadi peningkatan temperatur hingga 1300°C pada saat penghembusan oksigen. Proses secara detail, hasil, dan gambar akan dijelaskan pada pembahasan sub-bab IV.3 dan IV.4

4.2 Karakterisasi Awal *Matte*

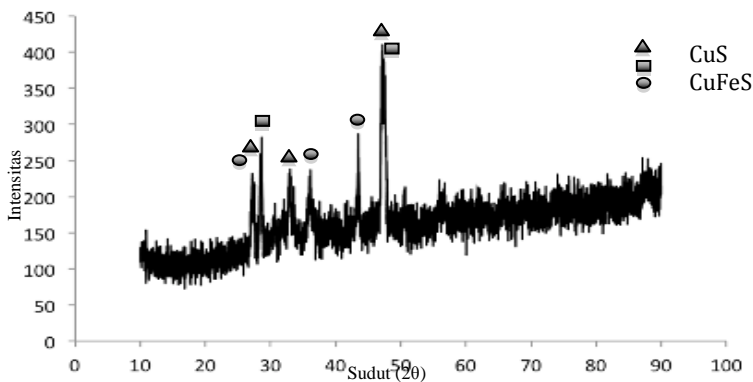
Matte merupakan sistem ternary dari Cu-Fe-S. Komposisi tembaga *matte* adalah campuran homogen dari sulfida tembaga(I) dan besi(II), yang disebut dengan sistem *pseudobinary*. (Fathi Habashi). Tembaga *matte* memiliki karakteristik visual yang dapat dibedakan dengan logam tembaga. Tembaga *matte* memiliki warna abu-abu dan campuran sedikit ungu yang diakibatkan karena adanya CuS (kovelit) pada *matte* tersebut.

Karakterisasi yang dilakukan pada *matte* bahan untuk melakukan penelitian ini dilakukan menggunakan pengujian XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan XRD (*XRay Diffraction*) Hasil yang diperoleh dari pengujian XRF yaitu:



Tabel 4.1 Daftar Fasa Yang Terbentuk Pada *Matte* Tembaga

Ref. Kode	Nilai	Nama Unsur	Ketidaktepatan [$^{\circ}2\theta$.]	Faktor Skala	Rumus Kimia
01-075-4063	58	Copper Iron Sulfide	-0.458	0.750	Cu_2FeS_2
01-076-6653	44	Copper sulfide	-0.053	0.744	$\text{Cu}_{1.81}\text{S}$
01-074-7399	14	Iron Sulfide	-0.379	0.236	$\text{Fe}_{0.88}\text{S}$



Gambar 4.1 Fasa Yang Terbentuk Pada *Matte* Tembaga

XRD ini dilakukan di laboratorium XRD jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS dan dianalisa dengan menggunakan *software High Score*. Dari hasil XRD *matte* tembaga di gambar 4.1 dapat terlihat bahwa intensitas yang tinggi adalah fasa tembaga besi (Cu_2FeS_2), fasa tembaga sulfide (CuS) dan fasa besi sulfide (FeS). Proses *converting* ini gunanya untuk menghilangkan Fe dan S yang ada didalam *matte*, dan untuk menghilangkannya diperlukan oksigen untuk mengikat pengotor. Sehingga pengotor nanti akan mengapung saat proses membentuk *slag* dan gas keluar SO_2 .

Disini juga terdapat pengujian awal yang dilakukan dengan pengujian XRF, yang dilakukan uji XRF antara lain tembaga *matte*.

**Tabel 4.2** Komposisi *Matte* Tembaga

Jenis	Cu (%)	Fe(%)	S(%)
<i>Matte</i>	41.01	10.93	9.89

Pengujian XRF ini dilakukan di laboratorium XRF Universitas Sebelas Maret Solo. Dan hasil yang terlihat pada *matte* awal adalah kadar tembaga yang tidak terlalu tinggi dengan pengotor yang masih tinggi yaitu berupa besi, sulfur dan silika. Untuk mengurangi kadar dari sulfur dan besi menggunakan hembusan oksigen.

Matte ini sendiri masih memiliki banyak pengotor dikarenakan *matte* ini sendiri adalah hasil dari *blast furnace* yang menghasilkan banyak pengotor dan membutuhkan pemurnian lebih lanjut seperti *converting* serta *refining*. Besi yang berada dalam *matte* awal berasal dari *ore* tembaga yang diolah itu sendiri, setiap *ore* tembaga pasti mempunyai kandungan Fe tetapi dengan kadar yang berbeda-beda. Maka dari itu dibutuhkan adanya pengikatan Fe pada proses *converting*, yaitu menggunakan hembusan oksigen .

4.3 Pengaruh Penambahan Komposisi Oksigen Pada Penghembusan Udara Terhadap Tembaga *Blister* Hasil *Converting*

Oksigen yang dihembuskan dalam penelitian ini mempunyai beberapa variasi komposisi dan debit yang dihembuskan dari kompressor dan tabung oksigen sesuai dengan perhitungan. Variasi komposisi oksigen yang dihembuskan dalam penelitian ini dimulai dari 21% O₂, 30% O₂, 40% O₂, dan yang terakhir sebesar 50% O₂. Besar debit yang dihembuskan dalam penelitian ini adalah sebesar 12,5 L/menit dengan waktu yang sama yaitu 10 menit.

Untuk melihat komposisi yang tepat maka dilakukan beberapa pengujian pada *Blister* tembaga hasil proses *converting*,

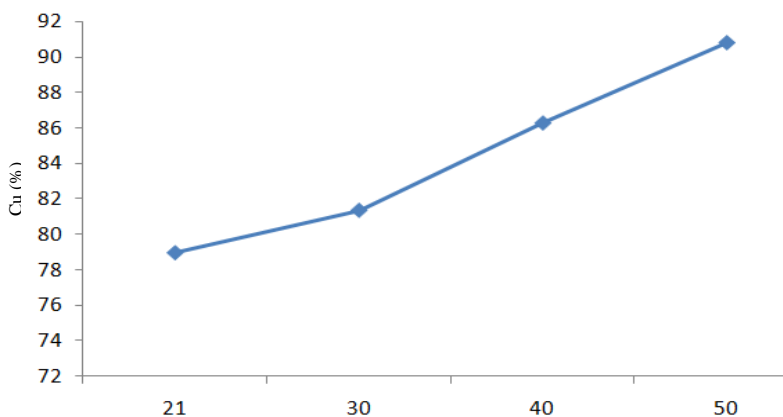


Pengujian yang dilakukan menggunakan XRD dan XRF. Pertama dapat dilihat dari hasil pengujian XRF.

Tabel 4.3 Komposisi Tembaga *Blister* Pada Berbagai Komposisi Oksigen

<i>Blister</i>	Cu (%)	Fe(%)	S(%)
21% O ₂	79	8,03	8,81
30% O ₂	81,39	6,70	-
40% O ₂	86,31	1,38	-
50% O ₂	90,83	1,32	-

Pengujian XRF ini menggunakan Niton XLt2. Dari data pada table 4.3 dapat diketahui bahwa kadar Cu meningkat dengan penambahan komposisi oksigen. Kadar Cu yang diperoleh dapat dicapai hingga 90,83%, hal ini tergantung pada komposisi oksigen yang dihembuskan. Untuk mengetahui pengaruh komposisi oksigen yang diberikan dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kenaikan Kadar Tembaga Terhadap Penambahan Komposisi Oksigen Pada *Blister*



Dari hasil pengujian XRF diatas dapat dilihat bahwa terjadi tren peningkatan dari jumlah tembaga yang terkandung dan terjadi penurunan dari jumlah kadar pengotor S dan Fe. Ini dikarenakan oleh penghembusan oksigen pada proses *converting* mampu mengoksidasi CuS menjadi SO_2 dan FeS menjadi FeO atau *slag*. Pada percobaan pertama dengan penghembusan oksigen dengan kadar 21% O_2 atau hanya menggunakan udara bebas saja dan debit yang dihembuskan sebesar 12,5 L/menit serta waktu selama 10 menit kurang mampu mengoksidasi Fe dan S dengan baik. Dilihat dari tabel diatas, *Blister* yang dihasilkan masih mengandung Fe sebesar 8,03% dan S sebesar 8,81%. Terdapatnya kandungan unsur S pada *Blister* 1 dapat disebabkan oleh kurangnya oksigen yang diberikan sehingga tidak dapat mengoksidasi unsur S pada CuS dan FeS dengan sempurna. Pada variabel kedua dengan menghembuskan oksigen dengan komposisi 30% O_2 serta debit total dan waktu yang diberikan sama dengan variabel sebelumnya akan tetapi debit yang dikeluarkan dari mesin kompresor sebesar 11,07 L/menit dan dari tabung oksigen sebesar 1,43L/menit sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan, Unsur S pada *matte* telah teroksidasi dengan baik. Dilihat pada table 4.3 tidak terlihat adanya unsur S pada *Blister* 2 akan tetapi unsur Fe masih terdapat sebesar 6,70%.

Pada variabel ketiga menggunakan komposisi oksigen yang dihembuskan sebesar 40% O_2 dengan debit total serta waktu yang diberikan sama dengan variabel sebelumnya akan tetapi debit yang dikeluarkan dari mesin kompresor sebesar 9,4 L/menit dan dari tabung oksigen sebesar 3,1 L/menit sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan, kadar Cu meningkat menjadi 86,31% dan terjadi penurunan yang cukup signifikan pada kadar Fe sebesar 5,32% dari variabel sebelumnya. Penurunan kadar Fe yang cukup signifikan ini dapat disebabkan karena oksigen yang dihembuskan dapat mengoksidasi Fe dan S dengan sangat baik.

Pada variabel keempat menggunakan komposisi oksigen yang dihembuskan sebesar 50% O_2 dengan debit total dan waktu

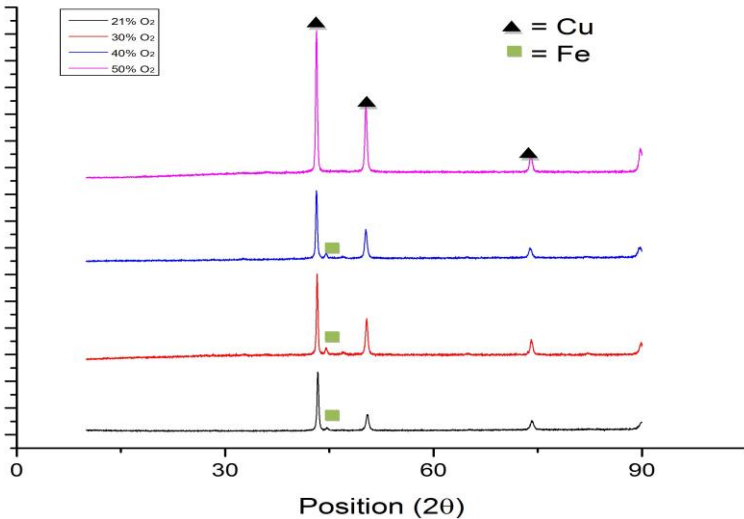


yang sama dengan variabel sebelumnya akan tetapi debit yang dikeluarkan oleh mesin kompresor sebesar 7,9 L/menit dan dari tabung oksigen sebesar 4,6 L/menit sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Proses oksidasi yang terjadi telah berjalan dengan sangat baik dilihat dari hasil pengujian yang dilakukan kadar Cu dan Fe yang didapat sebesar 90,83% dan 1,32% serta tidak terdapat lagi kandungan unsur S pada *Blister* 4.

Proses oksidasi terjadi karena adanya senyawa CuS yang bereaksi dengan O₂ sehingga menjadi logam murni Cu dan gas SO₂. Untuk pembentukan *slag* FeS bereaksi dengan O₂ menjadi slag FeO dan gas SO₂. Reaksi ini dapat terjadi dan dibuktikan oleh energi bebas Gibbs masing-masing reaksi.



Energi bebas Gibbs pada masing-masing reaksi diatas bernilai negatif. Hal ini menandakan reaksi pembentukan Cu bersifat spontan. Nilai energi bebas Gibbs akan lebih mudah terjadi jika energinya semakin negatif. Nilai negatif ΔG mengindikasikan bahwa reaksi akan terjadi secara spontan, sedangkan nilai positif mengindikasikan bahwa reaksi tidak akan terjadi (Gaskell, 1973). Jadi dapat disimpulkan bahwa penambahan komposisi oksigen pada udara bebas mampu meningkatkan kadar Cu dalam proses *converting*. Untuk mengetahui fasa yang terjadi pada logam tembaga blister diperlukan pengujian XRD dengan PANalytical. Fase yang terbentuk pada tembaga blister dapat dilihat pada tabel 4.3.



Gambar 4.3 Fasa Yang Terbentuk Pada Tembaga *Blister* Pada Berbagai Komposisi Oksigen

Tabel 4.4 Daftar Fase Tembaga *Blister* Pada Berbagai Komposisi Oksigen

	Ref. Kode	Ketidak tepatan [°2Th.]	Faktor skala	Rumus Kimia
21% O ₂	00-003-1005	0.047	0.893	Cu
	01-087-0722	0.290	0.453	Fe
30% O ₂	03-065-9026	-0.135	0.888	Cu
	01-087-0721	-0.149	0.060	Fe
40% O ₂	03-065-9026	-0.253	0.699	Cu
	01-071-4409	-0.162	0.065	Fe
50% O ₂	01-089-2838	-0.181	0.949	Cu

Pada hasil pengujian XRD, logam tembaga blister mengandung fasa tunggal Cu dan Fe pada tembaga *Blister* 21% O₂, 30% O₂, dan 40% O₂. Logam tembaga *Blister* tersebut masih memiliki peak Fe yang ditunjukkan pada gambar 4.3 dan pada tembaga *Blister* 50% O₂ memiliki sedikit peak Fe tetapi tidak



terlalu menonjol. Hal ini menandakan bahwa Fe pada tembaga blister ini memiliki kadar Fe yang relatif sedikit atau mengalami penurunan.

Pada hasil tembaga *Blister* yang didapatkan, disesuaikan dengan diagram fase Cu-S pada gambar 2.7. Pada *Blister* 1 yang masih terdapat kandungan S sebesar 8,81%, pada diagram fase Cu-S menunjukkan bahwa pada temperatur 1300⁰C yang terbentuk adalah *blister copper* dan *molten white metal*. Pada hasil pengujian *Blister* 2, *Blister* 3, dan *Blister* 4 apabila disesuaikan dengan diagram fase Cu-S yang terbentuk hanya terbentuk *blister copper*.

Pada penelitian yang dilakukan didapatkan hasil kadar Cu tertinggi sebesar 90,83% sedangkan pada industri yang mengolah tembaga pada dasarnya menghasilkan kadar Cu sebesar 98% sehingga dapat diolah kembali menjadi produk. Hal ini menyimpulkan bahwa hasil yang didapatkan dari penelitian ini masih belum bias diolah menjadi produk yang bisa dijual.

4.4 Pengaruh Penambahan Komposisi Oksigen Pada Penghembusan Udara Terhadap *Slag* Hasil *Converting*

Hasil uji XRF *slag* dengan variasi komposisi oksigen pada udara bebas dapat dilihat pada tabel 4.5

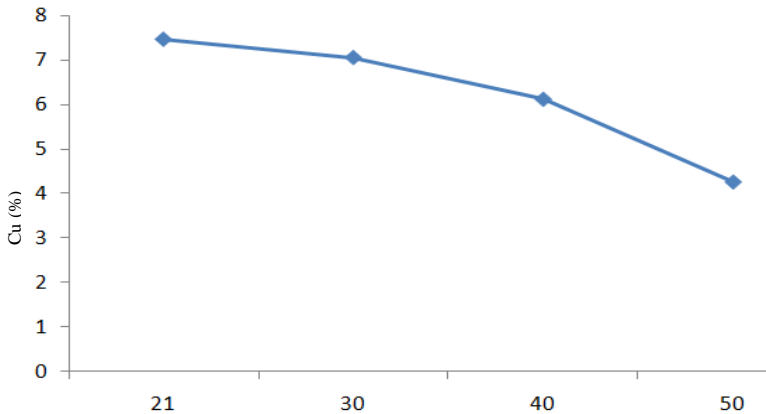
Tabel 4.5 Komposisi *Slag* Pada Berbagai Komposisi Oksigen

	Fe (%)	Cu (%)	S (%)
21% O ₂	20,24	7,47	0,78
30% O ₂	30,56	7,06	-
40% O ₂	33,29	6,12	-
50% O ₂	33,84	4,26	-

Pada hasil pengujian XRF *slag*, didapatkan unsur Cu yang ada pada *slag* dan unsur-unsur pengotornya, seperti Fe dan S. Kadar Cu yang terdapat pada *slag* mengalami penurunan sesuai dengan kenaikan komposisi oksigen pada udara bebas yang dihembuskan. Pada *slag* 1, Cu yang terdapat pada *slag* sebesar



7,47%, kadar Cu pada *slag* 1 merupakan kadar Cu yang paling tinggi jika dibandingkan dengan variabel penambahan komposisi oksigen lainnya. Pada *slag* 2 kadar Cu yang terkandung pada *slag* adalah sebesar 7,06%. Persentase Cu pada *slag* 2 mengalami penurunan dibandingkan *slag* 1. Penurunan kadar Cu dari *slag* 1 ke *slag* 2 adalah sebesar 0,41%. Penurunan ini relatif rendah jika dibandingkan dengan *slag* lainnya. *Slag* 3 memiliki kadar Cu sebesar 6,12%. Penurunan kadar Cu yang terjadi lebih besar yaitu 0,94%. Penurunan *slag* 3 ke *slag* 4 terjadi penurunan yang terbesar yaitu 1,86%. Kadar Cu yang paling rendah terlihat pada *slag* 4 yang hanya mengandung Cu sebanyak 4,26%.

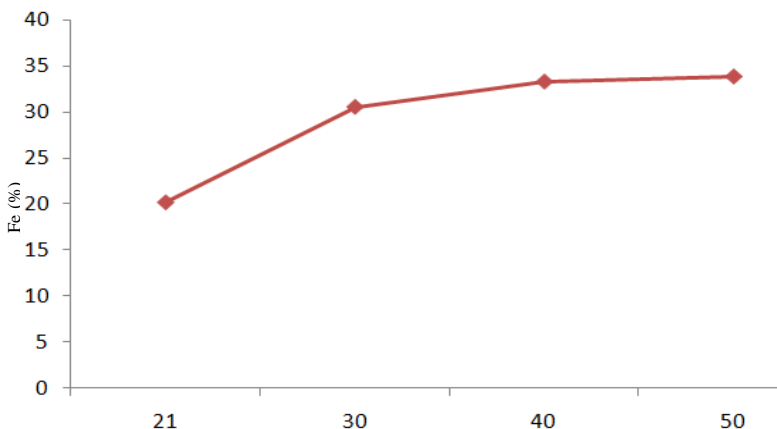


Gambar 4.4 Penurunan Kadar Tembaga Terhadap Penambahan Komposisi Oksigen Pada *Slag*

Dapat dilihat pada gambar 4.7 penurunan kadar Cu terjadi sebanding dengan penambahan komposisi oksigen diudara bebas yang dihirup pada proses converting. Penurunan kadar Cu dari *slag* 1 ke *slag* 2 dan dari *slag* 2 ke *slag* 3 mengalami penurunan yang tidak terlalu signifikan. Pada *slag* 3 ke *slag* 4 mengalami penurunan yang signifikan sampai *slag* 4 yang hanya mengandung 4,26% Cu. Pada proses converting, Cu yang terkandung dalam *slag* memiliki kisaran nilai dari 4% hingga 8%



(Davenport, 2002). Penurunan kadar Cu dalam slag ini diakibatkan oleh O_2 yang telah bereaksi dengan CuS dengan reaksi oksidasi. Semakin besar komposisi oksigen yang dihembuskan, semakin banyak CuS yang bereaksi dengan O_2 karena hembusan oksigen mampu menembus lelehan tembaga dan mengikat S menjadi gas SO_2 . Reaksi ini dapat terjadi karena energi bebas Gibbs yang bernilai negatif yang ditunjukkan pada persamaan reaksi CuS dengan O_2 diatas.



Gambar 4.5 Peningkatan Kadar Besi Terhadap Penambahan Komposisi Oksigen Pada *Slag*

Berbeda dengan kadar Cu, kadar Fe terjadi peningkatan pada setiap peningkatan komposisi oksigen yang dihembuskan. Kadar Fe pada *slag* 1 memiliki nilai sebesar 20,24. *Slag* 1 memiliki kadar Fe yang paling rendah dibandingkan dengan *slag* lainnya. Dilihat pada tabel 4.6 dan gambar 4.6 fase yang terbentuk pada *slag* 1 merupakan *slag ferrite silicate* (Fe_2SiO_4). *Slag* ini memiliki ikatan senyawa antara besi yang terbentuk senyawa FeO dengan silika SiO_2 yang ada pada *slag*.

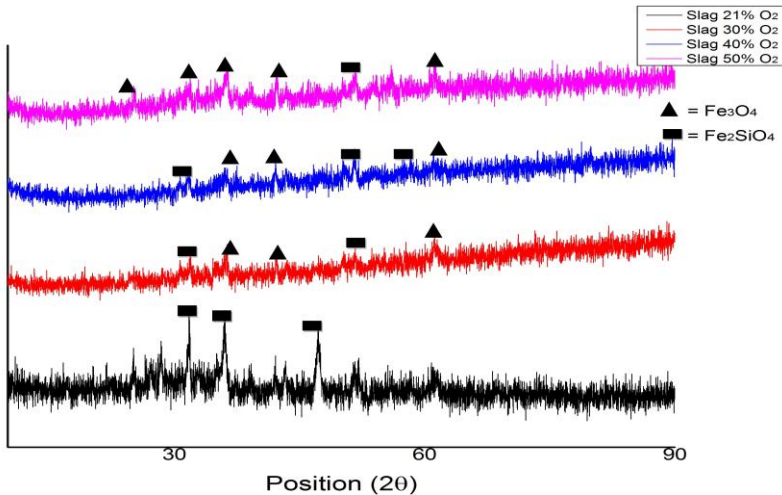
Pada *slag* 2 memiliki kadar Fe sebesar 30,56. Peningkatan Fe dari *slag* 1 ke *slag* 2 sangat signifikan yaitu



sebesar 10,32%. *Slag* 3 memiliki kadar Fe sebesar 33,29. Peningkatan kadar Fe dari *slag* 2 ke *slag* 3 tidak begitu signifikan hanya mengalami peningkatan sebesar 2,73%. Pada *slag* 4 hanya mengalami kenaikan sebesar 0,55% dari *slag* 3. Pada *slag* 2 hingga *slag* 4 mulai terbentuk fasa *magnetite* (Fe_3O_4) tetapi masih terdapat fasa *ferrite silicate* (Fe_2SiO_4). Dari semua variabel *slag* yang ada, *slag* 5 memiliki kadar Fe yang tertinggi yaitu sebesar 3,84%. Terbentuknya fasa yang *magnetite* dapat diakibatkan oleh kelebihan oksigen yang dihembuskan.

Tabel 4.6 Daftar Fase *Slag* Yang Terbentuk Pada Berbagai Penambahan Komposisi Oksigen

No	Komposisi Oksigen di udara bebas	Fasa yang Terbentuk	
		Senyawa/Unsur	PDF Card
1	21%	Fe_2SiO_4	(00-031-0649)
2	30%	Fe_2SiO_4 Fe_3O_4	(00-031-0649) (01-076-0956)
3	40%	Fe_2SiO_4 Fe_3O_4	(00-031-0649) (01-076-0956)
4	50%	Fe_2SiO_4 Fe_3O_4	(00-031-0649) (01-076-0956)



Gambar 4.6 Fasa Yang Terbentuk Pada *Slag* Pada Berbagai Penambahan Komposisi Oksigen

Hasil dari pengujian XRD dan XRF *slag* menunjukkan bahwa peningkatan komposisi oksigen pada udara bebas mempengaruhi pembentukan fasa pada *slag*. Kadar Fe pada *slag* 1 sampai *slag* 4 mengalami peningkatan yang dapat dilihat pada gambar 4.6.

Peningkatan kadar Fe dalam *slag* berhubungan pada penurunan kadar Fe pada tembaga blister. Penurunan kadar Fe tembaga blister dapat ditandai dengan peningkatan kadar Fe dalam *slag*. Hal tersebut dapat terjadi karena reaksi oksidasi dan pembentukan *slag* sehingga Fe yang ada pada logam *matte* dapat bereaksi membentuk *slag*. Hal ini dapat dibuktikan oleh nilai energi bebas Gibbs pada masing-masing reaksi yang ditunjukkan sebagai berikut:





Reaksi pembentukan *slag* memiliki nilai energi bebas Gibbs yang negatif. Hal ini menandakan bahwa pada temperatur 1300°C (1573K) reaksi ini dapat terjadi secara spontan. FeS yang dioksidasi oleh oksigen akan membentuk *slag* FeO dan gas buang SO₂ serta pada jumlah oksigen tertentu proses oksidasi FeS akan menghasilkan *magnetite* (Fe₃O₄).

Maka dengan adanya penelitian ini diharapkan adanya kemajuan dalam bidang pengolahan mineral dan metalurgi ekstraksi di Indonesia ini sendiri. Karena sudah diterapkannya tentang UU Minerba pada tahun 2014 ini maka dari itu kita harus mengolah hasil dari bumi kita ini dengan semaksimal mungkin untuk memajukan Indonesia. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diimplementasikan untuk industri dengan skala dan kapasitas alat yang lebih besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian pengaruh variasi penambahan komposisi oksigen di penghembusan udara pada proses *converting* dari tembaga *matte* menjadi *blister* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan komposisi oksigen di penghembusan udara saat proses *converting* dapat meningkatkan kadar kemurnian tembaga *blister* hasil *converting*. Semakin besar komposisi oksigen di udara bebas yang dihembuskan, semakin tinggi kadar Cu yang didapatkan. Penambahan komposisi oksigen di udara bebas yang terbaik adalah sebesar 50% karena menghasilkan kadar kemurnian Cu sebesar 90,83%.
2. Slag yang terbentuk pada penelitian ini adalah *magnetit* (Fe_3O_4) dan *ferrite silicate* (Fe_2SiO_4).
3. Dari penelitian yang dilakukan, penambahan yang terbaik adalah sebesar 50% O_2 , tetapi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

5.2. Saran

Dari penelitian ini terdapat beberapa saran yang perlu diperhatikan, berikut ini adalah saran dalam penelitian ini :

1. Skala penelitian yang dilakukan perlu diperbesar dan dibandingkan dengan skala industri, untuk membantu industri pengolahan mineral di Indonesia.
2. Desain *muffle* yang lebih sempurna sehingga proses *converting* dapat dilakukan bias lebih optimal.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada pengaruh penambahan komposisi oksigen pada proses *converting* sehingga mendapatkan titik optimal pada proses *converting*.



(Halaman ini sengaja dikonsongkan)

DAFTAR PUSTAKA

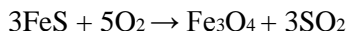
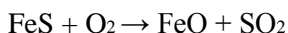
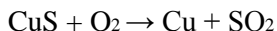
- Babich, A., Senk, D., Gudenau, W.H., Mavrommatis, K.Th., (2008), *Iron Making Textbook*, 1st edition, Institut fur Eisenhuttenkunde der RWTH Aachen, Aachen.
- Chakrabati, D.J., Laughin, D.E., 1983. "The Cu-S (Copper-Sulfur) System". *Bulletin of Alloy Phase Diagram*, 4, 254-271.
- Davenport, W. G., King, M., Schlesiner, M., Biswas, A.K., (2002), *Extractive Metallurgy of Copper*, 4th Edition, Tucson, Pergamon
- Dunn, J.G., Ginting, A.R., dan Connor, B.O., 1964. A Thermoanalytical Study of The Oxidation of Chalchocite. *Journal of Thermal Analysis*, 41, 671-686.
- Gaskell, R. D. 1973. Introduction To Metallurgical Thermodynamics. Tokyo: McGraw – Hill Kogakusha, LTD.
- Haver, R. R., and Wang, M. M., 1971, "Recovery of copper, iron, and sulphur from chalcopryite concentrates using a ferric chloride leach," *J. Metals*, 23 (2), 25 - 29.
- Horath, L., (2001), *Fundamentals of materials Science for Technologist: Properties, Testing, and laboratory Exercises*, 2nd Edition, New Jersey, Prentice Hall.
- International Copper Study Group (2012), *The World Copper Factbook 2012*, ICSG, Lisbon.
- Kaur, Rajneet, (2007), *FCS Slag For Continous Copper Converting*, Thesis Submitted in Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy (PhD), Rio Tinto.
- Koria .S.C, (1991), *Fluid Dynamic aspects of lance design for submerged gas injection practice*
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcopryite*, Version 1.
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Chalcocyte*, Version 1.
- Mineral Data Publishing (2001-2005), *Malachite*, Version 1.

- Rosenqvist, T., (2004), *Principles of Extractive Metallurgy*, 2nd edition, Tapir Academic Press, Trondheim.
- Sarangi, B. dan Sarangi, A., (2011), *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*, 1st Edition, PHI Learning Private Ltd, New Delhi.
- Snelling, Walter O. 1932. *Copper Refining*

LAMPIRAN

A. Perhitungan Stoikiometri pada Proses Converting

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses converting terdapat beberapa reaksi kimia yang melibatkan proses oksidasi. Antara CuS dengan O₂ dan pengikatan Fe₃O₄ (magnetit) dengan O₂ pada slag. Dengan perhitungan stoikiometri, penelitian ini dapat mengetahui jumlah perbandingan massa flux yang ditambahkan dengan senyawa yang bereaksi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



Berdasarkan hasil XRF dengan perbandingan massa Fe, Cu, dan S. Pada penelitian ini menggunakan matte dengan kadar sulfur 9,89%. Dari masing-masing kadar Sulfur, maka jumlah CuS dan FeS dapat diketahui dengan cara sebagai berikut:

- Matte

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(CuS)} = 32/95,5 = 0,334$$

$$\text{Ar(S)}/\text{Mr(FeS)} = 32/88 = 0,363$$

$$\text{Total CuS dan FeS} = 0,334 + 0,363 = 0,697$$

$$\begin{aligned}\% \text{CuS matte} &= (0,334/0,697) \times 9,89\% \\ &= 4,64\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{FeS matte} &= (0,363/0,697) \times 9,89\% \\ &= 5,24\%\end{aligned}$$

Setelah didapatkan jumlah CuS dan FeS dalam raw material dank arena menggunakan matte saja sehingga masing-masing CuS dan FeS dapat dihitung jumlah massanya dalam setiap percobaandengan cara:

$$\begin{aligned}\text{Massa CuS} &= 4,64\% \times 1000 \text{ g} \\ &= 46,4 \text{ g}\end{aligned}$$

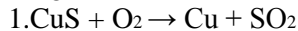
$$\begin{aligned}\text{Massa FeS} &= 5,24\% \times 1000 \text{ g} \\ &= 52,4 \text{ g}\end{aligned}$$

Setiap massa dapat dihitung jumlah molnya yaitu:

$$\begin{aligned}\text{Mol CuS} &= 46,4/95,5 \\ &= 0,49\end{aligned}$$

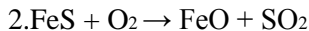
$$\begin{aligned}\text{Mol FeS} &= 52,4/88 \\ &= 0,59\end{aligned}$$

Dari perhitungan mol, lalu dimasukkan ke masing-masing reaksi dengan O₂:



Maka mol O₂ yang digunakan dalam reaksi ini adalah:

$$\begin{aligned}\text{Mol O}_2 &= (1/1) \times 0,49 \\ &= 0,49 \text{ mol}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\text{Mol O}_2 &= (1/1) \times 0,59 \\ &= 0,59 \text{ mol}\end{aligned}$$

Maka total mol O₂ yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned}\text{Total mol O}_2 &= 0,49 + 0,59 \\ &= 1,08 \text{ mol}\end{aligned}$$

Untuk mencari total volume O₂ yang dibutuhkan menggunakan persamaan gas ideal:

$$P V = n R T$$

Dengan persamaan gas ideal, tekanan dicari dengan persamaan:

$$P_1/T_1 = P_2/T_2$$

P₁ dan T₁ menggunakan tekanan atmosfer, dan T₂ menggunakan temperatur 1300°C (1573K) sehingga:

$$1 \text{ atm} / 298 \text{ K} = P_2 / 1573 \text{ K}$$

$$P_2 = 5,27 \text{ atm}$$

Maka

$$5,27 \times V = 1,08 \times 0,0812 \times 1573$$

$$V_{O_2} = 26,17 \text{ L}$$

Volume tersebut menggunakan komposisi 100% O_2 sedangkan pada proses converting ini menggunakan udara bebas dengan kompresor.

$$V_{O_2} = (100/21) \times 26,17$$

$$V_{O_2} = 125 \text{ liter}$$

Menentukan debit untuk proses converting

$$Q = 125 \text{ liter} / 10 \text{ menit}$$

$$Q = 12,5 \text{ liter/menit}$$

Secara stokiometri 12,5 liter/menit adalah debit udara bebas yang dibutuhkan untuk mengoksidasi CuS dan FeS.

B. Penentuan Debit Yang Dihembuskan Pada Proses *Converting*

Untuk menentukan debit yang dikeluarkan dari kompresor dan tabung oksigen pada penambahan komposisi oksigen pada udara bebas:

1. 30% O_2

$$30\% \times 12,5 \text{ L/menit} = [100\% \times (12,5-x)] + [21\% \times (x)]$$

$$3,75 = (12,5-x) + 0,21x$$

$$-8,75 = -0,79x$$

$$X = 11,07 \text{ L/menit}$$

X merupakan debit yang dikeluarkan dari kompresor sehingga untuk debit yang dikeluarkan dari tabung oksigen adalah:

$$12,5 - 11,07 = 1,43 \text{ L/menit.}$$

2. 40% O_2

$$40\% \times 12,5 \text{ L/menit} = [100\% \times (12,5-x)] + [21\% \times (x)]$$

$$5 = (12,5-x) + 0,21x$$

$$-7,5 = -0,79x$$

$$X = 9,4 \text{ L/menit}$$

X merupakan debit yang dikeluarkan dari kompressor sehingga untuk debit yang dikeluarkan dari tabung oksigen adalah:

$$12,5 - 9,4 = 3,1 \text{ L/menit.}$$

$$50\% \times 12,5 \text{ L/menit} = [100\% \times (12,5-x)] + [21\% \times (x)]$$

$$6,25 = (12,5-x) + 0,21x$$

$$-6,25 = -0,79x$$

$$X = 7,9 \text{ L/menit}$$

X merupakan debit yang dikeluarkan dari kompressor sehingga untuk debit yang dikeluarkan dari tabung oksigen adalah:

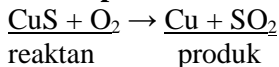
$$12,5 - 7,9 = 4,6 \text{ L/menit.}$$

C.Perhitungan Energi Gibbs pada Proses Converting

Pada reaksi converting ditinjau energi bebas gibbs untuk menentukan reaksi terjadi spontan atau tidak. Dengan sifat termodinamika dari setiap elemen pada reaksi yang terjadi pada proses converting. Dapat dicari nilai energi bebas gibbs yang terjadi pada proses converting temperatur 1300°C (1573 K) dengan persamaan.

$$\Delta G_{1573} = \Delta H_{1573} - T \cdot \Delta S_{1573}$$

Reaksi pembentukan tembaga



$$\begin{aligned} \Delta H(\text{Cu})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Cu})dT \\ &= 9,31 + \int_{298}^{1365} (22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T)dT + \\ &\quad \int_{1365}^{1573} (31,38)dT - 12,97 \\ &= 9,31 + 29,72 + 6,527 - 12,97 \\ &= 32,58 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

$$\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} = \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2)dT$$

$$\begin{aligned}
&= -296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\
&= -296,85 + 66,436 \\
&= -230,414 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{CuS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{CuS}) dT \\
&= -53,1 + \int_{298}^{1573} C_p(-125,13 + 0,0567T + 0,8422T^{1/2}) dT \\
&= -53,1 - 94,78 \\
&= -147,88 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\
&= 0 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-5} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\
&= 0 + 42,7 \\
&= 42,7 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\begin{aligned}
\Delta H_{1573} &= (32,58 - 230,414) - (-147,88 + 42,7) \\
&= -92,98 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Lalu mencari nilai ΔS

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{Cu})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Cu})}{T} dT \\
&= 0,033 + \int_{298}^{1365} \frac{22,64 + 6,28 \times 10^{-3} T}{T} dT + \int_{1365}^{1573} \frac{31,38}{T} dT \\
&= 0,033 + 0,101 + 0,00445 \\
&= 0,138 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\
&= 0,248 + \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-5} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2}{T} dT \\
&= 0,248 + 0,082 \\
&= 0,330 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{CuS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{CuS})}{T} dT \\ &= 0,066 - 0,098 \\ &= -0,032\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT \\ &= 0,205 + \\ &\quad \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\ &= 0,205 + 0,054 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

Maka

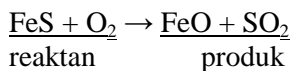
$$\begin{aligned}\Delta S_{1573} &= (0,138 + 0,330) + 0,032 - 0,25 \\ &= 0,25 \text{ kJ/molK}\end{aligned}$$

Sehingga nilai ΔG_{1573} dapat dicari dengan

$$\begin{aligned}\Delta G_{1573} &= -92,98 - 1573 \times 0,25 \\ &= -486,23 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

Reaksi pembentukan slag

Lalu reaksi



$$\begin{aligned}\Delta H(\text{FeO})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeO}) dT \\ &= -264,4 + \int_{298}^{1573} (60,7) dT \\ &= -187,008 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2) dT \\ &= -296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2) dT \\ &= -296,85 + 66,436 \\ &= -230,414 \text{ kJ/mol}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS}) dT \\
&= -100 + \int_{298}^{411} (95,5) dT \\
&\quad + \int_{411}^{598} (72,3) dT + \int_{598}^{1463} (168,5) dT + \\
&\quad \int_{1436}^{1573} (195,6) dT \\
&= 91,58 \text{ kJ/mol} \\
\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2) dT \\
&= 0 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - \\
&\quad 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT \\
&= 0 + 42,7 \\
&= 42,7 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Maka

$$\Delta H_{1573} = -551,68 \text{ kJ/mol}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{FeO})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeO})}{T} dT \\
&= 0,06 + \int_{298}^{1573} \frac{64,07}{T} dT \\
&= 0,16 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT \\
&= 0,248 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\
&= 0,248 + 0,082 \\
&= 0,330 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT \\
&= 0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\
&\quad + \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT \\
&= 0,28 \text{ kJ/molK} \\
\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,205 + \\
&\int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2}{T} dT \\
&= 0,205 + 0,054 \\
&= 0,25 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

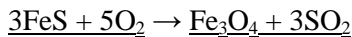
Maka

$$\Delta S_{1573} = -0,04 \text{ kJ/molK}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
\Delta G_{1573} &= -551,68 + 1573 \times 0,04 \\
&= -488,76 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

Lalu reaksi



reaktan

produk

$$\begin{aligned}
3\Delta H(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{FeS})dT) \\
&= 3(-100 + \int_{298}^{411} (95,5)dT \\
&\quad + \int_{411}^{598} (72,3)dT + \int_{598}^{1463} (168,5)dT + \\
&\quad \int_{1436}^{1573} (195,6)dT) \\
&= 274,74 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5\Delta H(\text{O}_2)_{1573} &= 5(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{O}_2)dT) \\
&= 50 + \int_{298}^{1573} (29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - \\
&\quad 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2)dT) \\
&= 5(0 + 42,7) \\
&= 213,5 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta H(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)dT \\
&= -1118,4 + \int_{298}^{900} (297,4)dT + \int_{900}^{1573} (199,3)dT \\
&= -805,3 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$3\Delta H(\text{SO}_2)_{1573} = 3(\Delta H_{298} + \int_{298}^{1573} C_p(\text{SO}_2)dT)$$

$$\begin{aligned}
&= 3(-296,85 + \int_{298}^{1573} (43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2) dT) \\
&= 3(-296,85 + 66,436) \\
&= -691,2 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

$$\Delta H_{1573} = -1984.7 \text{ kJ/mol}$$

Lalu

$$\begin{aligned}
3\Delta S(\text{FeS})_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{FeS})}{T} dT) \\
&= 3(0,06 + \int_{298}^{411} \frac{95,05}{T} dT + \int_{411}^{598} \frac{72,3}{T} dT \\
&\quad + \int_{598}^{1463} \frac{168,5}{T} dT + \int_{1463}^{1573} \frac{195,6}{T} dT) \\
&= 3(0,28) \\
&= 0.84 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5\Delta S(\text{O}_2)_{1573} &= 5(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{O}_2)}{T} dT) \\
&= 5(0,205 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{29,96 + 4,184 \times 10^{-3} T - 1,67 \times 10^{-5} T^2 - 2}{T} dT) \\
&= 5(0,205 + 0,054) \\
&= 1,25 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\Delta S(\text{Fe}_3\text{O}_4)_{1573} &= \Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{Fe}_3\text{O}_4)}{T} dT \\
&= 0,14 + \int_{298}^{900} \frac{297,4}{T} dT + \int_{900}^{1573} \frac{199,3}{T} dT \\
&= 0,14 + 0.43 \text{ kJ/molK} \\
&= 0,57 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3\Delta S(\text{SO}_2)_{1573} &= 3(\Delta S_{298} + \int_{298}^{1573} \frac{C_p(\text{SO}_2)}{T} dT) \\
&= 3(0,248 + \\
&\quad \int_{298}^{1573} \frac{43,43 + 10,63 \times 10^{-3} T - 5,94 \times 10^{-5} T^2 - 2}{T} dT) \\
&= 3(0,248 + 0,082) \\
&= 0,990 \text{ kJ/molK}
\end{aligned}$$

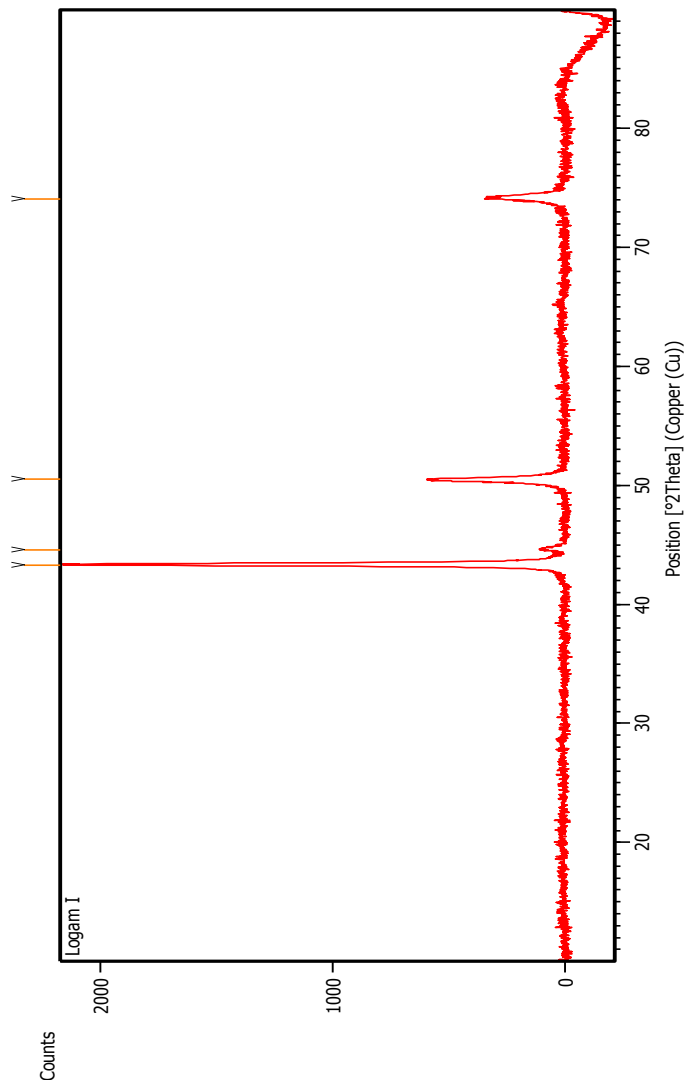
Maka

$$\Delta S_{1573} = -0.53 \text{ kJ/molK}$$

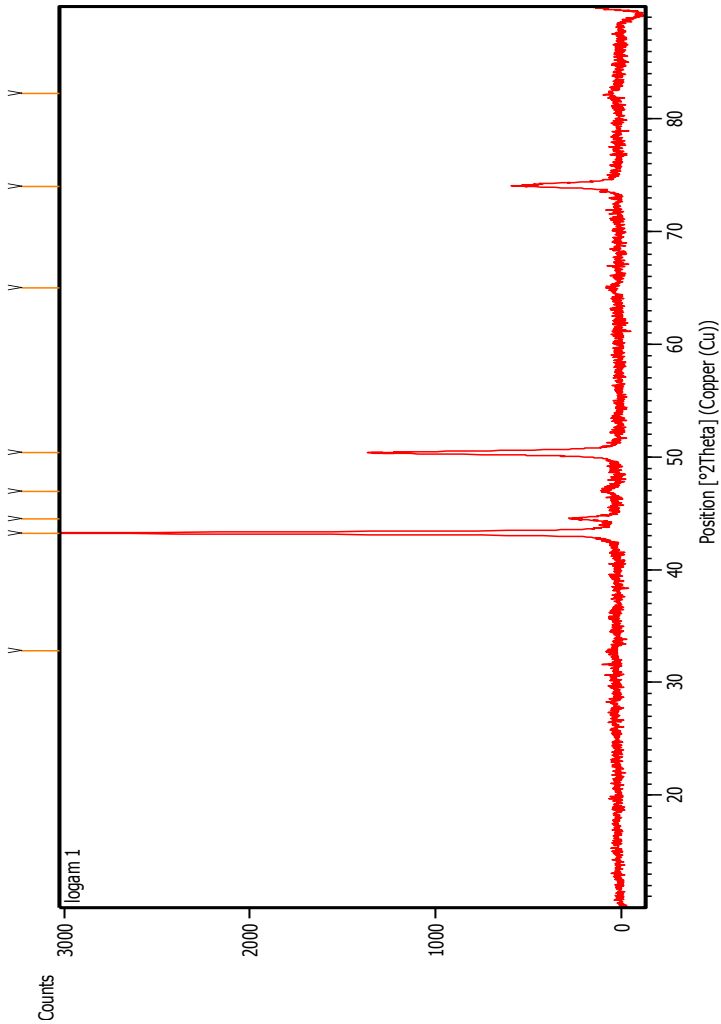
Sehingga

$$\begin{aligned}
\Delta G_{1573} &= -1984.7 + 1573 \times 0.53 \\
&= -1151.01 \text{ kJ/mol}
\end{aligned}$$

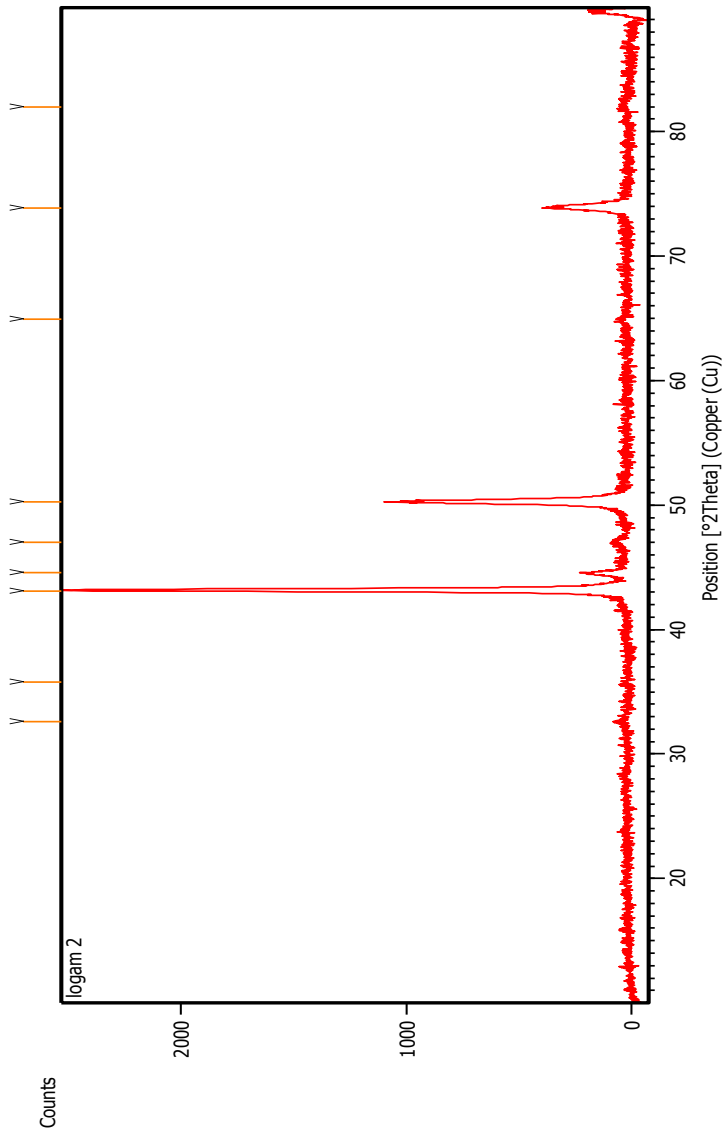
Hasil Pengujian XRD Blister 1



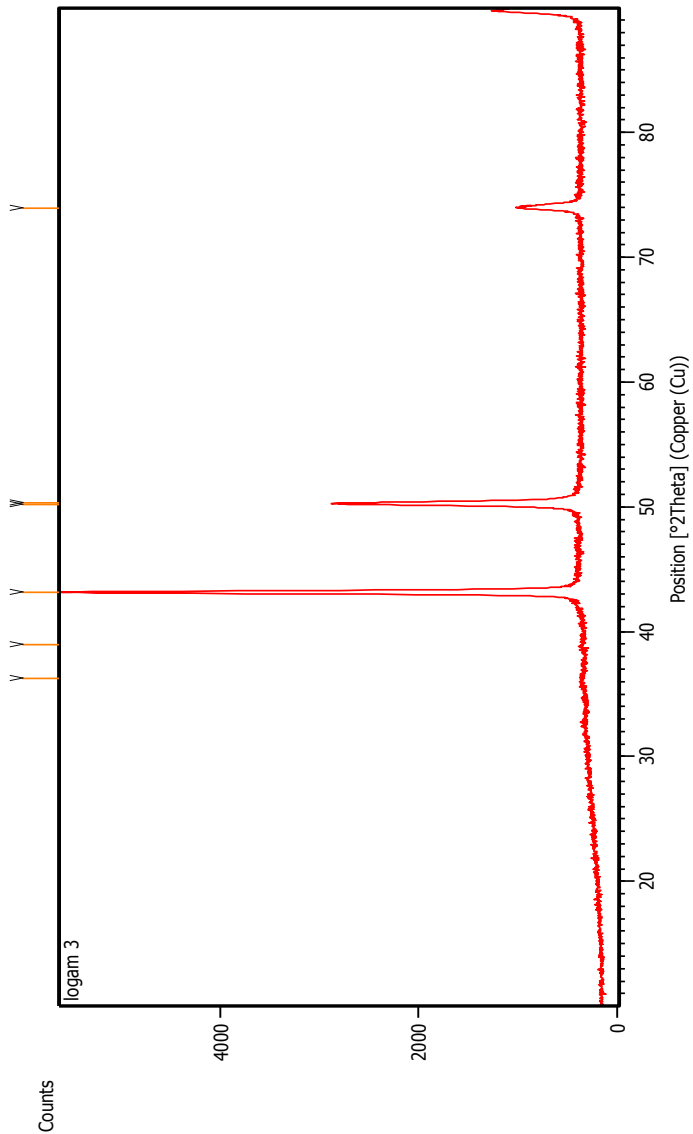
Hasil Pengujian XRD Blister 2



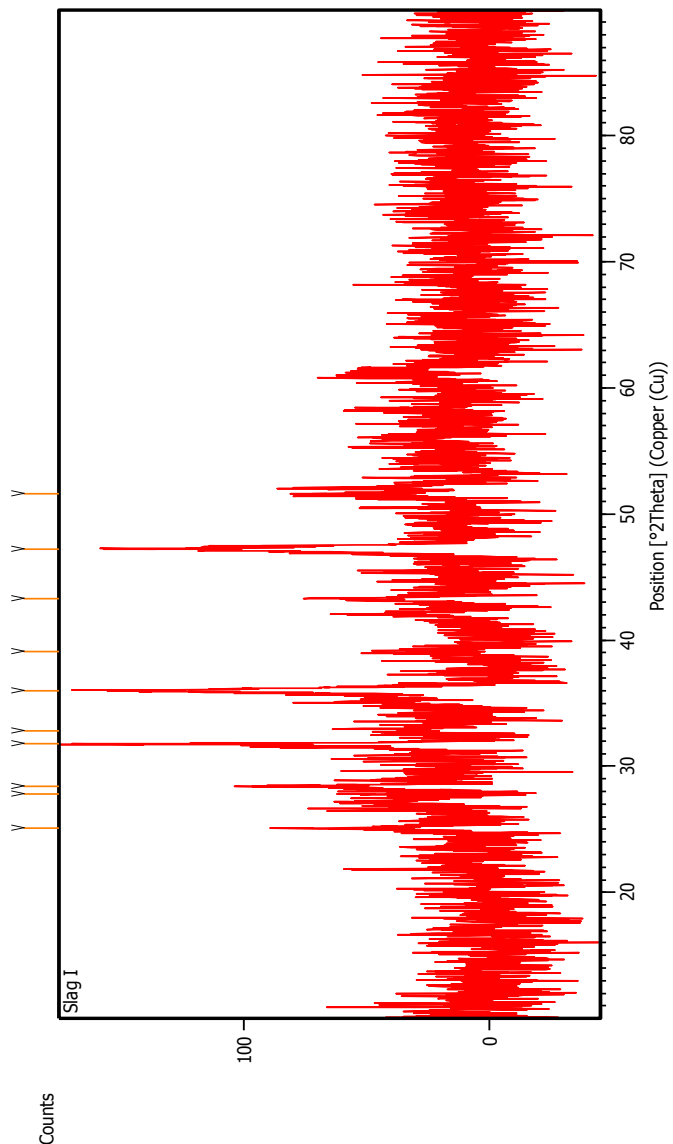
Hasil Pengujian XRD Blister 3



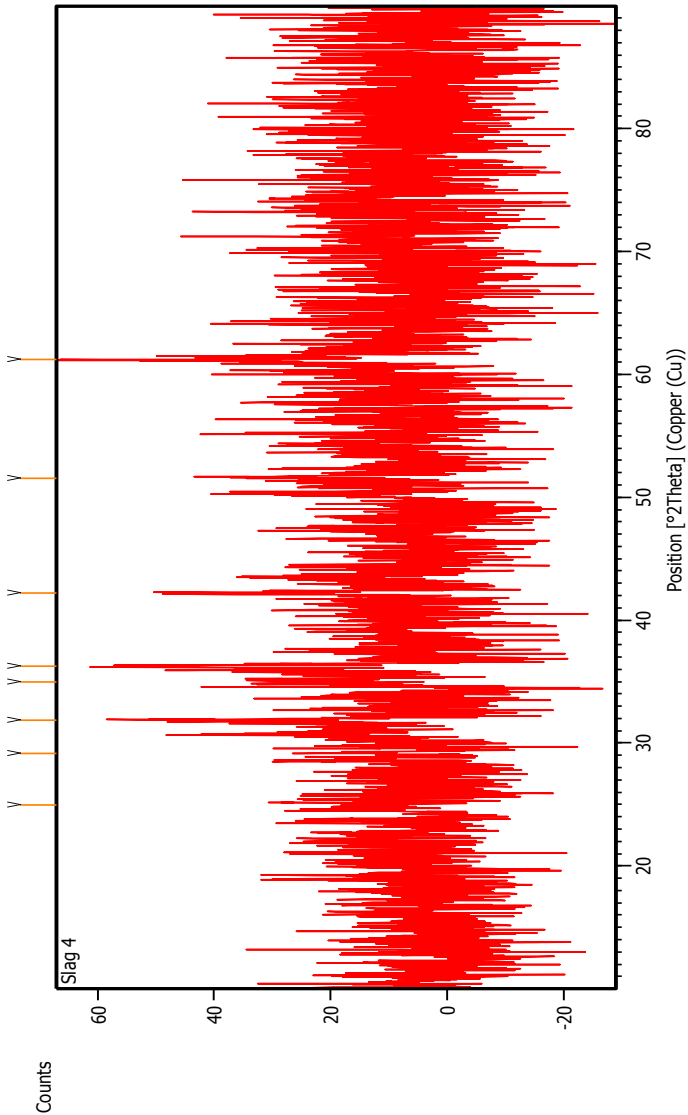
Hasil Pengujian XRD Blister 4



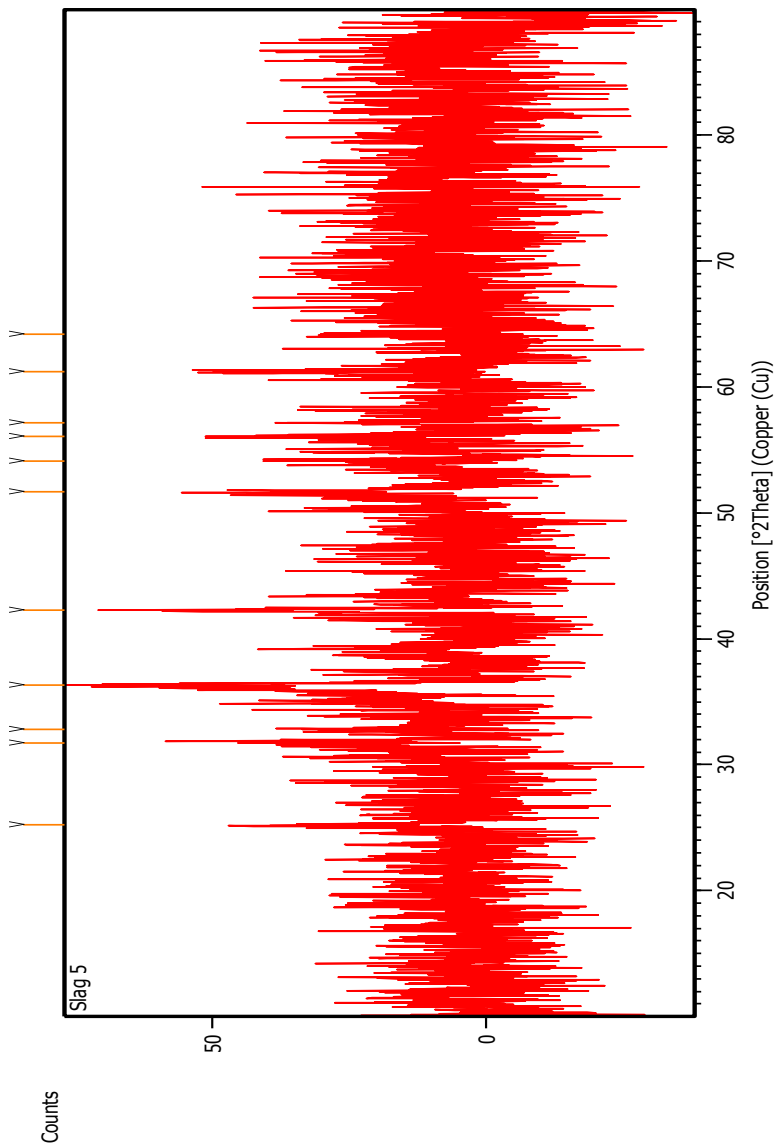
Hasil Pengujian XRD Slag 1



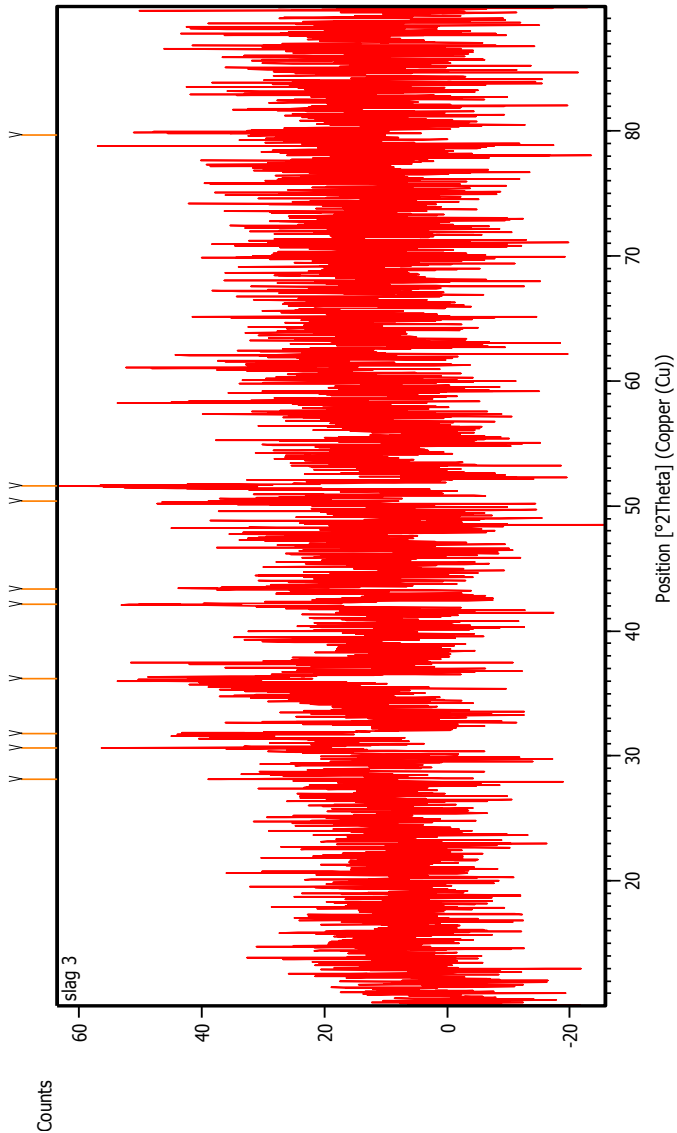
Hasil Pengujian XRD Slag 2



Hasil Pengujian XRD Slag 3



Hasil Pengujian XRD Slag 4



Hasil Uji XRF tembaga matte raw material



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
LABORATORIUM MIPA TERPADU
Jl. Ir. Sutami 36A, Ketingan, Surakarta, Jawa Tengah 57126

Nama konsumen : Salsabilah
Jenis analisis : XRF
Aplikasi/preparasi : EQUA_Powder/Mylar
Jenis sampel : Serbuk
Kode sampel : Matte1_Salsa
Nama operator : Ari Wisnugroho
Hari/Tanggal analisis : Rabu, 11 Juni 2014
Kontak : Dr. Sayekti W., M.Si (081568455281)

Formula	Z	Concentration	Status	Line 1
Cu	29	41.01%	Fit spectrum	Cu KA1/EQ20
O	8	33.40%	Chem. bindings	
Fe	26	10.93%	Fit spectrum	Fe KA1/EQ20
S	16	9.89%	Fit spectrum	S KA1/EQ20
Si	14	1.87%	Fit spectrum	Si KA1/EQ20
Ca	20	1.60%	Fit spectrum	Ca KA1/EQ20
Al	13	0.46%	Fit spectrum	Al KA1/EQ20
Cl	17	0.25%	Fit spectrum	Cl KA1/EQ20
P	15	0.22%	Fit spectrum	P KA1/EQ20
K	19	0.13%	Fit spectrum	K KA1/EQ20
Ni	28	0.07%	Fit spectrum	Ni KA1/EQ20
Ti	22	0.06%	Fit spectrum	Ti KA1/EQ20
Mn	25	0.04%	Fit spectrum	Mn KA1/EQ20
Pb	82	0.02%	Fit spectrum	Pb LA1/EQ20
Sn	50	0.02%	Fit spectrum	Sn KA1/EQ40
As	33	0.01%	Fit spectrum	As KA1/EQ20

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Arlin Ilham, yang akrab dengan panggilan Arlin dilahirkan di Jakarta pada tanggal 1 Juli 1992. Merupakan anak terakhir dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh studi formal di SDN Menteng 01 Jakarta, SMP Negeri 1 Jakarta dan SMA Negeri 3 Jakarta. Setelah menempuh sekolah, penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember mulai tahun 2010 dengan NRP 2710100101. Sejak masa sekolah penulis memiliki ketertarikan pada bidang sains dan olah raga. Beberapa prestasi telah diperoleh saat masih duduk di bangku sekolah. Ketertarikannya berlanjut pada bidang kimia sehingga memutuskannya untuk mendalami bidang material dan metalurgi. Selain melanjutkan studinya, penulis juga aktif dalam organisasi intra kampus maupun ekstra kampus. Organisasi yang diikutinya adalah Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi (HMMT) FTI-ITS dan Ikatan Mahasiswa Jakarta Se-Surabaya (IMAJAS) Penulis memilih organisasi yang berhubungan dengan material dan metalurgi karena ketertarikannya dalam bidang ini. Penulis juga ingin melihat bagaimana perkembangan bidang material dan metalurgi di Indonesia sehingga mengikuti organisasi ekstra kampus yaitu HMMT FTI-ITS. Pada tahun keempat, penulis telah memilih salah satu cabang bidang studi metalurgi ekstraksi dikarenakan oleh isu-isu tentang Undang-Undang Minerba No.4 tahun 2009 yang berisi larangan untuk pengimporan bahan mineral dan batu bara dalam bentuk mentah. Hal ini dianggap menjadi kesempatan yang sangat besar bagi penulis. Sewaktu kerja praktek, penulis memilih perusahaan PT. Exterran sebagai tempat awal belajar terjun langsung di dunia kerja. Di sana

banyak hal yang dipelajari salah satunya tentang ilmu pengendalian korosi yang harapan ke depan penulis negeri Indonesia dapat menggunakan ilmu yang didapat pada dunia kerja. Hingga pada akhir tahun perkuliahan, penulis mengambil tugas akhir bidang metalurgi ekstraksi untuk mendalami lebih lanjut tentang bidang ini. Sehingga tugas akhir selesai dan harapan penulis dapat bermanfaat bagi bangsa Indonesia ke depannya.

Kontak : arlinilham27@gmail.com

Surabaya, 29 Januari 2015

Penulis